

الموسوعة المصورة في

العلوم والتكنولوجيا

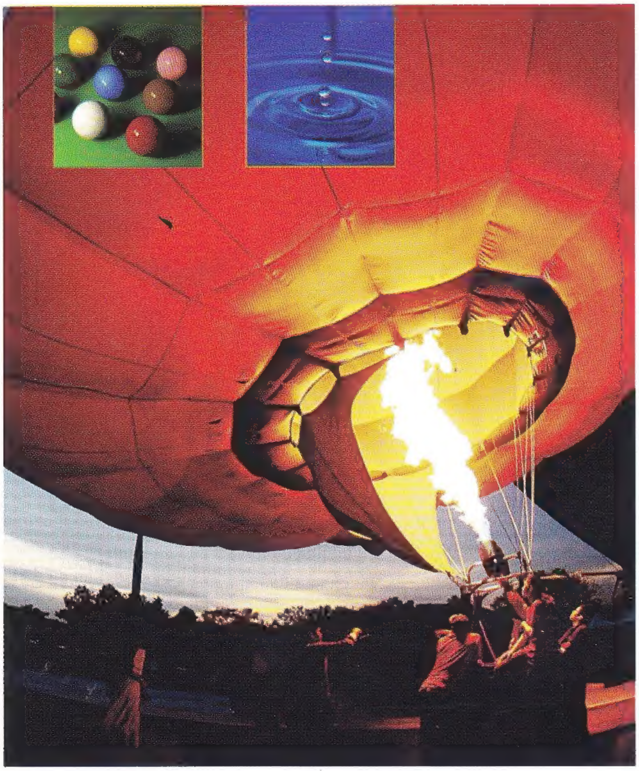
# حالات المادة

## (الصلب ـ السائل والمتبخر)

SOLID, LIQUID & GAS

دار الراتب الجامعية

الموسوعة المصورة في
العلوم والتكنولوجيا
PICTORIAL SCIENCE INFOPEDIA



# حالات المادّة

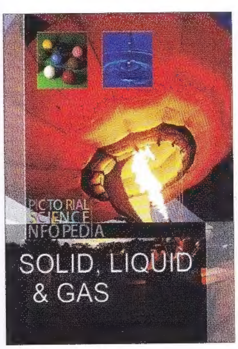
## (الصُّلب - السَّائل والمتبخِّر)

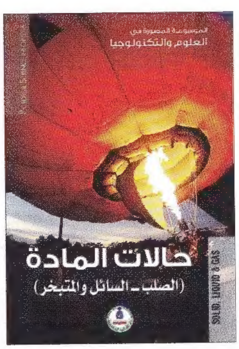
DAR EL RATEB
دار الراتب الجامعية

**Dar El Rateb دار الراتب الجامعية**
مقابل جامعة بيروت العربية ـ بناية اسكندراني (3)
الطابق الثاني ـ بيروت ـ لبنان
تلفون: 993 853 1 00961
895 853 1 00961
www.dar-elrateb.com

Original Title:
Pictorial Science Infopedia
**SOLID, LIQUID & GAZ**

الطبعة العربية: **حالات المادّة** (الصُلب ـ السَّائل والمتبخِّر)
الطبعة الأولى First Edition: 2015





تعريب: محمد جمال قبيعة
الإخراج الفني: SAMO PRESS GROUP
مجلد: ISBN 978-9953-30-702-2
الطبعة الأولى: 2015

# المحتويات

# ماهي المادَّة؟


المادة هي كلُّ شيء حولنا

كلّ شيءٍ حولنا هو مادَّةٌ تتألَّف من جُزيئات مُشتقَّةٌ من ثلاثة أنواعٍ أساسيَّةٍ هي: صلبٌ، وسائلٌ، وغازٌ. فأيُّ شيءٍ يشغل حيِّزاً ومادةً، مثل الكواكب، والأبنية، والنَّباتات، والحيوانات، والنَّاس أيضاً، حتى الهواء فهو مُكوَّنٌ من مادَّةٍ. وكمِّيَّة الفراغ التي يشغلها الجسم تُسَمّى حجمه وكمِّيَّة المادة فيه تُسَمَّى كُتلته.

## المادَّة الصُّلبة

هي نوعٌ من المادة لديها شكلها الخاصّ ولا تسيل في درجة حرارةٍ معيَّنةٍ. والجُزيئات التي تكوِّن المادَّة الصُّلبة قريبةٌ من بعضها البعض وحركتها مقيَّدةٌ. تتضمَّن المواد الصُّلبة: الطَّاولات، والقمصان، والكؤوس الزُّجاجيَّة، والفَخَّار، فلكلٍّ منها خاصيَّةٌ تُعرف بها. ويمكن أَن تكون المواد الصُّلبة مختلفةَ الأَلوان والبِنْيات مع طواعيَّةٍ



### هل تعلم؟

- أنَّ الذي نتنفسه يتكوَّن من غازاتٍ مختلفةٍ، لكن معظمه نتروجين وأوكسجين؟
- وأنَّ النَّار هي خليطٌ من غازاتٍ ساخنةٍ لذلك عندما يحترق سائل البنزين في السَّيَّارة، يتحوَّل إلى غازاتٍ مُختلفةٍ تنطلق إلى الهواء عبر ماسورة العادم.


الطِّين مادَّةٌ صلبةٌ

متفاوتـةٍ. ومعرفـة خصائـص المـادَّة هو من الأُمـور المهمَّـة جـداً في دراسـتها، كمـا أَنَّ تصنيـف المواد حسـب هـذه الخصائص هو على نفس القدر من الأهمِّيَّة.
الكتلة هـي كمِّيَّة المادَّة في الجسـم، ومن الممكـن أن يعتقد الطُّلاب بـأَنَّ الكتلة هي نفس الـوزن، لكنَّ هـذا غير صحيـحٍ. فالـوزن يعتمد علـى سَـحْب الجاذبيَّة للجسـم، لذلك تجد أن وزن أي جسـمٍ على الأرض مُختلفٌ عن وزنه علـى سـطح القمر، بينمـا كتلته تبقـى كما هي لأنَّها لا تعتمد على الجاذبيَّة.





## تَعَرَّف إلى

**ليوسيبوس**

**Leucippus**

هو مُؤسِّس المذهب الذَّرِّي، وعلى الرَّغم من أَنَّ موتشوس Mochos الفينيقي الذي لا نعرف عنه إلاَّ القليل، أشار إليه الطَّبيب والفيلسوف سكستوس امبيريكوس Sextus Empiricus على أنه مُخترع مفهوم الذَّرَّة. تولَّى تلميذ ليوسيبوس، وديموكرتس Democritus، تعميم وشرح المذهب الذَّرِّي.

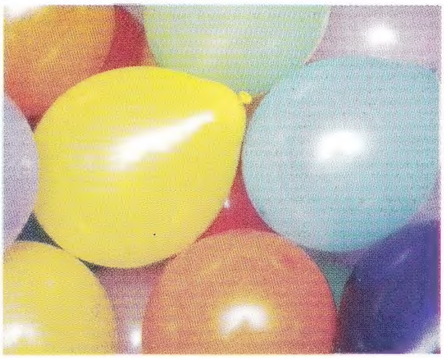


### السَّائل

السَّـائل هـو نـوعٌ مـن المادّة ليـس لديه شـكلٌ خـاصٌّ به ويسيل فـي درجـة حـرارةٍ معيَّنـةٍ. يأخـذ السَّـائل شـكل الإناء الـذي يحتويه، فجزيئاتـه هـي أكثـر بُعـداً عن بعضهـا البعـض بالمقارنـة مـع جزيئـات المـادَّة الصُّلبـة، كمـا أَنَّها قـادرةٌ على التّأرْجُـح والتَّحـرُّك بحُرِّيـةٍ أكثـر، وتتضمَّن السَّـوائل: الماء، والدَّم، والحليب، والعصير، وتتنوَّع في اللَّون واللُّزوجة أو الثَّخانة.



عصير

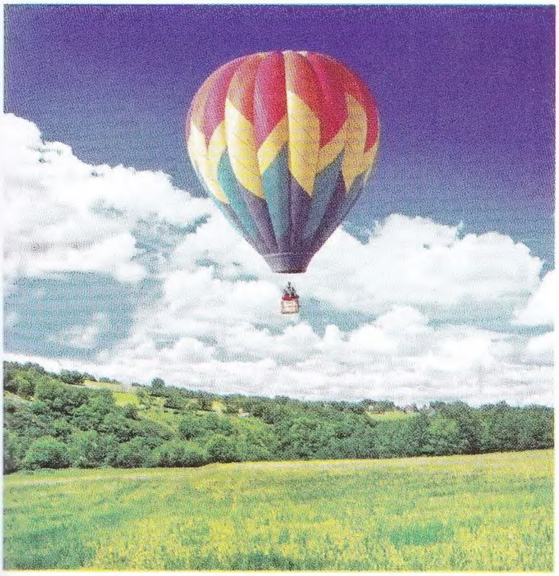


بالونات مملوءةٌ بالهواء

### الغاز

مِثل السّـائل، يسـيل الغـاز في درجـة حـرارةٍ معيَّنةٍ وليـس لديـه شـكلٌ خـاصٌّ بـه، حيـث يمكنـه أَخذ شـكل الأناء الـذي يحتويه. والجُزيئـات التي تُكوِّنه هـي أكثـر بُعـداً عـن بعضهـا البعـض بالمقارنة مع

جُزيئات المادة الصُلبة والسَّائلة ويمكن أَن تتحرَّك بشكلٍ مُستقلٍّ. ويمكن أَن تنتشر الغازات دونما الحاجة إلى أوانٍ تحتويها، وعلى الرَّغم من أَنَّنا لا نستطيع رؤيتها، إلَّا أنَّها تُحيط بنا على الدّوام. فالهواء هو مزيجٌ من غازاتٍ مختلفةٍ، والشَّمس مكوَّنةٌ من غازات وبلازما التي هي عبارة عن غازٍ مُتأيِّن أو حسَّاسٍ للمغنطة.



منطاد هوائي

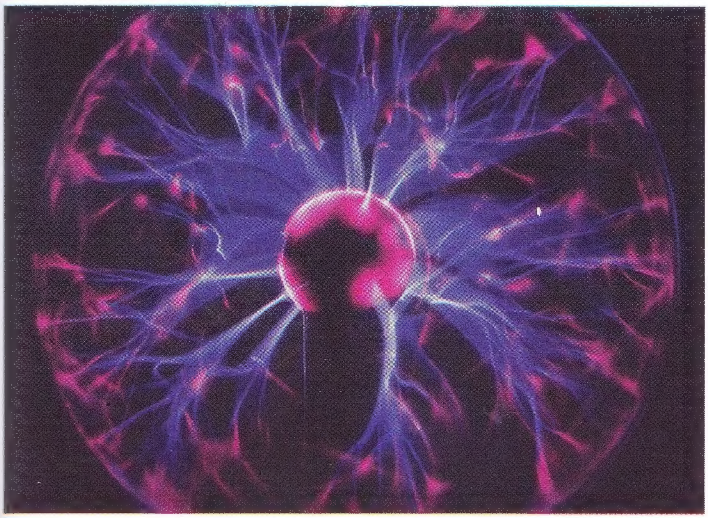
## البلازما

يُميِّز العلماء أَيضاً نوعاً آخر من المادَّة يُسمَّى البلازما. إنَّها غازٌ حارٌّ جداً تَفَتَّتَت جُزيئاته إلى ذرَّات وإلكترونات مشحونة إيجابيّاً، عِلماً أنَّ مُعظم النُّجوم تتألَّف من البلازما. وبما أَنَّ المادة يمكن أن تتواجد بأيٍّ من هذه الحالات الثَّلاث المُختلفة، تجد أن الكون يمتلك مجموعةً من الأشياء الجديرة بالتَّجربة والاكتشاف.



### هل تعلم؟

- أنَّه بإمكاننا أن نرى من خلال بعض المواد الصُلبة مثل الزُّجاج؟
- وأنَّ المادَّة هي كلُّ ما حولك، فالكمبيوتر خاصتك، والهواء، وحتى أنتَ مادَّةٌ. وفي الحقيقة أنت تضمُّ حالات المادة الأساسيَّة الثَّلاث وهي الصُلبة، والسَّائلة، والغازية؟



غازٌ ساخنٌ

## تغيُّر الحالة (ذوبان الثَّلج)



مكعبّات ثلج ذائبة

لا تتغيَّر الذَّرّات والجزيئات لكن طريقة انتقالها هي التي تتغيَّر. فالماء على سبيل المثال مُكَوَّنٌ من ذرَّتَيْ هيدروجين وذَرّة أوكسيجين، ويُمكن أن يأخذ الحالة السَّائلة، والصُّلبة (الجليد)، والغازيَّة (البخار). وتتغيَّر حالة المادة عندما يُضاف لها المزيد من الطَّاقة التي غالباً ما تكون على شكل حرارةٍ أو ضغطٍ.

## الماء

يُسَمّى الماء في الحالة الصُّلبة جليداً، وفي الحالة السَّائلة ماءً، وفي الحالة الغازيَّة بخاراً، لأنَّه معروفٌ بإمكانيَّة ظهوره في ثلاث حالاتٍ مُختلفة: صلبٌ، أو سائلٌ، أو غازٌ. فالغيوم، والثَّلج، والمطر جميعها مكوَّنةٌ بشكلٍ ما من الماء. وتحتوي الغيمة على قطرات ماءٍ صغيرةٍ أو بلُّورات جليديَّةٍ، والثَّلج هو عبارةٌ عن مجموعةٍ من بلُّوراتٍ جليديَّةٍ كثيرةٍ، والمطر هو عبارةٌ عن ماءٍ فقط في الحالة السَّائلة. ويُسمَّى الماء في الحالة الصُّلبة جليدٌ، حيث يكون في أدنى طاقةٍ ودرجةِ حرارةٍ، وجزيئاته تكون مُتراصَّةً بإحكامٍ ولا تتحرَّك بسهولةٍ. أمَّا في الحالة السَّائلة فهو ببساطة ماء نحصل عليه عندما يتعرَّض الجليد لحرارةٍ مرتفعةٍ، فتُصبح جزيئاته أكثر تحرُّراً ويمكن أن تتحرَّك بسهولةٍ. وأخيراً، في الحالة الغازيَّة يُسَمَّى بخاراً، ونحصل عليه عندما يغلي الماء. والجزيئات في هذه الحالة تكون أسخن، وأكثر تحرُّراً وأسهل وأسرع حركةً من جُزيئات السَّائل، وبالتالي تكون أكثر انتشاراً ويمكن أن تُضغط أو تُسحق. ويتكوَّن الماء من عُنْصُرَيْ الهيدروجين والأوكسجين، وصيغته الكيماويَّة هي H2O.



ماء المطر

وهـذا يعني أَنَّ كلَّ جُزيء من الماء يتكوَّن من ذرَّتي هيدروجين ملتصقتـان بذرَّة أوكسـيجين واحدةٍ. ويُغطِّي المـاء حوالى 70٪ من سطح الأرض، وسواء كان من المحيط أَو البحر فهو معروفٌ بمـاء البحـر. بمُعَـدَّل كلّ كيلوغـرام واحدٍ من مـاء البحر يحتوي على 35 غرام من الملح المُذَوَّب. ويُسـتخدم الماء كمُذَوِّب جيِّدٍ حيـث يذوب فيه السُّـكَّر، والملح، والأحماض بسـهولةٍ، علماً أَنَّ الزُّيـوت والدُّهون لا تختلط بالماء بشـكلٍ جيِّدٍ. وأكثر من 3.4 مليون شـخص يموتون كلَّ سنةٍ لِنَقصٍ بالماء أو لمشاكلٍ في التَّلوُّث، وأَنَّ 99٪ منهم من سـكّان البلـدان النَّامية تقريباً. وإحـدى الاسـتخدامات الهامَّة للماء هي الـرّيّ الزّراعي الذي يتـمُّ بإضافة الماء إلى التُّربة بطريقةٍ صناعيَّةٍ ليُسـاعد على نُمُوّ المحاصيل بانتظام.



**هل تعلم؟**

- أنـه ليس للسّـائل شكلاً محدَّداً، بل يأخذ شكل الإناء الذي يحتويه؟



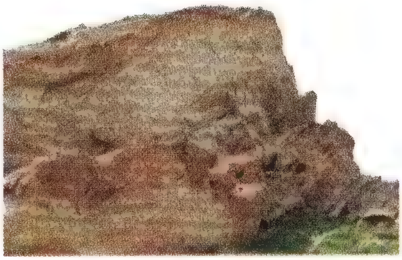
75٪ من الأرض عبارة عن مياه.

# خصائص المادَّة الصُّلبة، السَّائلة والغازيَّة

المـادَّة هي أيُّ جسـمٍ لديه كتلةٌ ويشـغل حيّزاً، وهي ما يتكوَّن منه الكون بشكلٍ عامٍّ.

فالنَّباتـات، والحيوانات، والصُّخور، والمـاء، والصُّودا، والهـواء، والأوكسـجين، كلُّهـا أَمثلـةٌ عـن المـادَّة التي يمكـن أن تكون حيَّةً أو غير حيَّـةٍ، وتتكوَّن جميعها من ذرَّات وجزيئات، وتمتلك ميّزات وخصائص يمكن أن تُستخدم لتعريفها.

ويمكـن أن تكـون خصائص المادة فيزيائيَّـة أو كيمائيَّة، وتبقـى كما هـي بِغَـضّ النَّظر عـن تغيُّر شـكل أو كمّيَّة المـادة. وهـذه الخصائـص هي مثـل لون العيـن، ولون الشَّـعر، ولـون الجلد، وبصمـات الأصابـع، والحمض النَّووي.



المادة الصُّلبة



السّائل



الغاز

## الخصائص الفيزيائيَّة

إنَّ مقيـاس الكتلـة والخصائص الأخـرى التي يُمكن أن تظهر بدون تغيُّر شـكل المادَّة هي خصائصها الفيزيائيَّة. فعندما تنظر إلى البرتقال فأنت تعرفه من خلال شـكله، ولونـه، ورائحتـه، حيـث الكتلـة، واللَّـون، والشَّـكل، والحجـم، والكثافـة هـي مـن الخصائـص الفيزيائيَّـة. والكثافـة هـي خاصِّيَّـةٌ فيزيائيَّـةٌ مُهمَّةٌ وهي كتلـة المادة لكلِّ وِحْدَة حجم تُعَرَّف على أساس كمِّيَّة الفراغ الذي تشغله المادة.

فالخاصيَّة الفيزيائيَّة إذاً، هي الخاصِّيَّة المرئيَّة بدون أيِّ تغيُّر في التَّركيب، وهي تكون إمَّا مركَّزةً أو شـاملةً. فبعـض الخصائص مثل الكتلـة والحجم تعتمد على كمِّيَّة المـادَّة في العيِّنة الجاري دراسـتها، وعلـى الرَّغـم من أن هذه الخصائص هي مهمَّـةٌ، إلَّا أنَّه لا يمكنهـا تمييز نوع المادة بمفردهـا. فـإذا قلنا بأَنَّ كتلة الماء تسـاوي كيلوغرامَين، يبدو كلامنا بـدون معنى، وعلى الرَّغم من أنَّه يمكن أن يكون صحيحاً في حالاتٍ مُعيَّنةٍ. والخصائص الشَّبيهة تُدعى الخاصِّيَّة الشَّاملة

للمـادَّة. ولنفتـرض بأنَّنـا تعمَّقنا فـي المقاييس ووجدنـا أن كمِّيّـة المـاء التـي تسـاوي كتلتهـا كيلوغرامَيـن هي نفسـها تشـغل حَجْم ليترَين. وفي هذه الحالة نكون قد قمنا بقياس خاصِّيَّتان شـاملتان (الكتلـة والحجم) لنفـس المادة، ممّا سـمح لنـا بالحصـول علـى قيمـةٍ جديـدةٍ من خلال قسـمة الكتلة على الحجم لنحصل على ميِّـزةٍ أو خاصِّيَّـةٍ أخرى للمـاء ندعوها الكثافة.



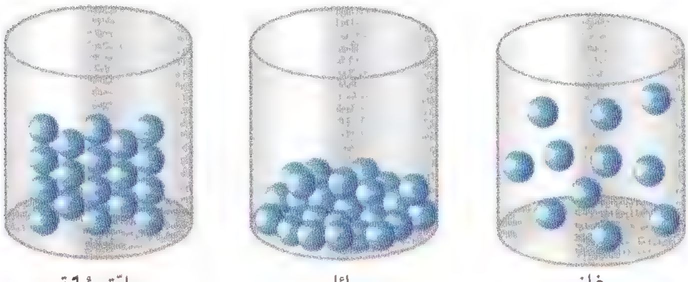
مكعَّب ثلج متجمّد

وعلى خلاف الكتلة والحجم اللذين يُشيرا إلى عيِّنةٍ محدّدةٍ من الماء، فالكثافة (أو الكتلة لكلِّ وحدةِ حجمٍ) هي خاصِّيَّة كلِّ عيِّنات الماء النَّقي في نفس درجة الحرارة. لذلك يمكن اعتماد الكثافة كمثال عن الخاصِّيَّة المُركَّزة للمادَّة. والخصائـص المركَّـزة مهمَّةٌ جـدّاً لأنَّ كلَّ نوعٍ من المادة يمتلك مجموعـةً فريدةً منها تُميِّزه عن نوعٍ آخر. فبعض هذا النَّوع من الخصائص يمكن أن يُلاحظ بسهولةٍ مثل اللَّون (الطَّيف المـاص Absorption Spectrum)، ودرجـة الذَّوبان، والكثافة، وقابليـة الذَّوبان، والطَّبيعة، والكثافـة الحمضيَّـة أو القلويَّـة. أمَّا بعض الخصائص المركَّـزة الأخرى فيصعب ملاحظتهـا بهذه السُّـهولة ويأتي في مقدَّمها التّركيـب الكيميائي. فمن أبرز مهـام الخصائص المركَّزة هي أنَّها تخدم فـي تمييز المادّة، حيث يعتمد الكثير منها على المُتغيِّرات مثل درجة الحرارة والضَّغط، عِلماً أنَّ طريقة تغييـر الخاصِّيَّـة تحـت تأثير هـذه المُتغيِّـرات يمكن اعتبارهـا أيضاً خاصِّيَّةً مُركَّزةً.



**هل تعلم؟**

- أنَّ الغاز هو مادَّةٌ لا شكل أو حجم أو لون له؟
- وأنَّ درجة حرارة الغاز تزداد وتتحرَّك الذرَّات بسرعةٍ، وتتباعد بشكلٍ واسعٍ، وتنتشر بكلِّ الإتجاهات؟




حركة جُزيئات في المادة الصُلبة والسَّائل والغاز

**الخاصّيّة المُركّزة**: هي الخاصّيّة الفيزيائيّة التي تبقى على حالها بغضّ النّظر عن كمّيّة المادة.

**الكثافة**: الكتلة/ الحجم

**اللّون**: الصُّبغة أو الظِّل.

**التّوصيل**: تدفُّق الكهرباء خلال المادَّة.

**قابلية التّطويع**: إمكانية تسطيح المادَّة.

**اللّمعان**: كم يبدو لمعان المادّة.

**القساوة**: سهولة خدش المادَّة.

**درجة الذّوبان ـ التّجمُّد**: هي درجة الحرارة التي تكون فيها المادّة بحالتيها الصُّلبة والسَّائلة متوازنة في الضَّغط الجوّي.

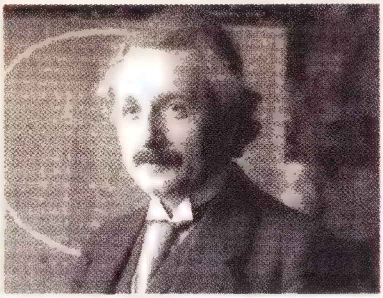
**درجة الغليان**: هي درجة الحرارة التي يكون فيها الضَّغط البخاري للسَّائل مساوٍ لضغط السّائل نفسه (الضَّغط الجوّي بشكلٍ عامٍّ).

تعرّف إلى

**ألبرت أينشتاين**

**Albert Einstein**

فيزيائيٌّ أميركيٌّ، وُلِدَ في ألمانيا عام 1879، وكان من مؤسّسي العصر الذّرّي وأحد أعظم العلماء في كلّ العصور، فهو الفيزيائي النّظَري الذي طوّر النّظرية النّسبيّة الخاصّة، Theory Of Relativity، ثم النّظريّة العامّة عام 1916 وحاز على جائزة نوبل عام 1921، ومات سنة 1955.



**الخاصّيّة الشّاملة**: هي الخاصّة الفيزيائيّة التي تتغيّر مع تغيير كمّيّة المادة.

**الكتلة**: كمية المادَّة في العينة.

**الوزن**: مقياس قوّة الجاذبيّة الأرضيّة على المادَّة.

**الحجم**: ما هو مقدار الفراغ الذي تشغله المادَّة.

**الطُّول**: طول المادَّة.

**الخصائص الكيميائيّة**: هي الخصائص التي يُمكن أن تُلاحظ فقط عند تغيُّر شكل المادَّة.



المادّة تملأ المكان

فعندما تحترق الورقة، تتحوَّل إلى مادَّةٍ سوداء، فبعد أن ينتشر فيها اللَّهب لا يمكن حرقها من جديدٍ، لأنَّ خصائصها الكيميائيّة قد تغيّرت.

## الخصائص تتغيَّر باستمرار

تتغيَّر المادة بشكلٍ مستمرٍّ، يذوب الثَّلج في المياه الغازيَّة، ويُكسر الزُّجاج، والورقة تُمزَّق. وعندما يذوب الثَّلج في المياه الغازيَّة، أين يذهب؟ وماذا يصبح؟

والثَّلج هو ماءٌ في حالته الصُّلبة، وعندما تُسقط مكعب الثَّلج في السّائل، يبدأ بالذَّوبان لأنَّ درجة حرارة المحيط أعلى من درجة حرارته. والشَّيء نفسه سيحصل معك إذا صنعت رجل الثلَّج في الحديقة، ففي شهر يوليو (تموز)، سيصبح كلّه ماءً وهو مثال عن التَّغيير الفزيائيّ.

أمَّا التَّغيير الكيميائي فهو تحوُّل المادَّة إلى مادَّةٍ أخرى. فتحوُّل الجليد إلى معكرونة، هو شيء لا يمكن أن يحدث إلاّ أنَّه مثال عن التَّغيير الكيميائي. ومثال حقيقي عن التَّغيير الكيميائي هو الحليب التّالف أو الخبز المُحَمَّص. وعلى خلاف التَّغييرات الفيزيائيّة، فإنَّ التَّغييرات الكيميائيّة لا يمكن عكسها، فمن الممكن أن يذوب الثَّلج إلى ماء ويجمد ذلك الماء لتحصل على الثَّلج ثانيةً، لكن لا يمكنك أن تصلح الحليب التّالف.



نار مشتعلة

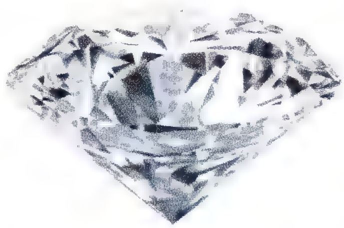
# المادَّة الصُّلبة



المادَّة الصُّلبة

المـواد الصُّلبـة هـي أثخـن أشـكال المـادَّة، حيـث تكـون الجُزيئات فيها متراصَّةً مع بعضها البعض بإحكام، لذلك لا تسـتطيع أن تتحرَّك كثيراً. وتتكـوَّن المواد الصُّلبة من أَجزاء أو مُركَّبات مختلفةٍ، لكنَّها تحافظ على نفس شكلها بخلاف السَّوائل أو الغازات.

فالخشـب، والصَّخـر، والمعـدن، هـي أمثلةٌ عـن المواد الصُّلبـة، فهـي تملك شـكلاً وحجماً مُحَدَّديـن لا يتغيَّرا. وأمثلة أُخرى عن المواد الصُّلبة هي: الكومبيوتر، والمقعد، واللَّوح. ويمكن أن تكون المواد الصُّلبة قاسـيةً، أو ناعمةً، أو كبيـرةً، أو صغيـرةً مثل حُبيبات الرَّمل، لكن فـي كلِّ أمثلتها، نجد أنَّها تحافظ على شـكلها ولا تسـيل مثل السَّـائل الذي يأخذ شـكل أيِّ إناءٍ يحتويه. والحجر أو الألمَاس سـوف يبدوان دائماً بنفس مظهرهما إذ لم يحدث لهما أي شـيءٍ. وحتى عندما تطحن المادَّة الصُّلبة إلى بودرة سوف تلاحظ قطعاً صغيرةً صلبةً منها تحت المجهر.



الألماس

تحافـظ المواد الصُّلبة على شـكلها لأنَّ ذرّاتها غير قادرةٍ على التَّحرُّك بشكلٍ كبيرٍ، وهي إحدى خصائصها الفيزيائيَّة. فبينما تنشـط وتطوف الذَّرَّات والجزيئات في السَّائل والغاز وتستطيع أن تتحرَّك بحُرِّيَّةٍ حيثما تريد، تبقى في المادة الصُّلبة مُلتصقـةً في تركيـبٍ وترتيبٍ خاصٍّ، حيث الـذَّرَّات تحوم والإلكترونـات تطير لكن الجُزيئـات لا تُغيِّر موقعها. ويمكـن أن تتكوَّن المـواد الصُّلبة من عـدَّة مُكوِّنـات بـدءاً من عناصـر نقيَّةٍ خالصـةٍ وانتهـاءً بمجموعـةٍ متنوِّعـةِ المركبـات، وعندمـا تجد أكثـر من نوعٍ واحدٍ من المُركبات في المادَّة الصُّلبة فهي



الخشب

تُدعى خليطاً في هذه الحالة. ومُعظم الصُخور هي خليطٌ من المُركبات المختلفة، والأسمنت هو مثالٌ جيِّدٌ عن خليطٍ من صنع الإنسان.

### الغرانيت

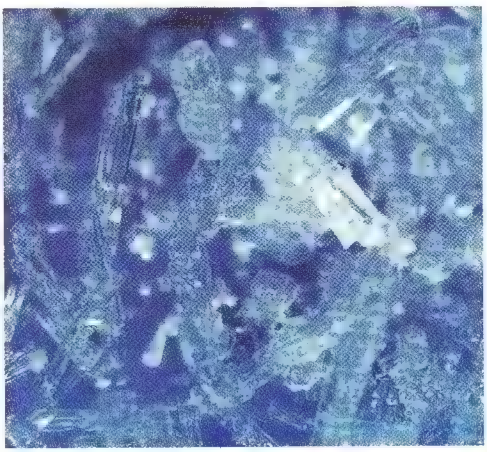
هـو خليـطٌ ربَّمـا تجده وأنـت تتنزه فـي الحديقة، ويتكـوَّن من قطعٍ صغيـرةٍ مـن الكوارتـز Quartz، والميـكا Mica وجُسـيمات أخرى. ولأنَّ القطع الصَّغيرة تنتشـر في الصَّخر بشكلٍ متفـاوتٍ، يدعوه العلماء خليـطٌ مُتغاير الخواص، حيـث يضمُّ تركيـزات مُختلفة لجُسـيمات خاصَّة فـي مختلـف أجزائـه. فربَّمـا تجـد الكثيـر مـن الكوارتـز فـي مـكانٍ واحـدٍ وكمِّيَّـةٍ قليلـةٍ مـن الفلسبار Feldspar أو سليكات الألمنيوم، لكنَّها متفاوتةٌ على مسافة بضع بوصات.



الغرانيت

### الكريستال

يتألَّـف مـن مادَّةٍ تضـمُّ ترتيب ذرّات، أو جزيئات أَو أيونات. فالكريسـتالات التي تؤلِّف أشـكالاً هندسـيَّةً على النِّهاية الأخرى للطَّيف هي ما يُسـمَّى بالكريسـتال، فعندما تتكوَّن مادَّةٌ صلبةٌ ببطء مـن مـادَّةٍ أخرى مع صيغٍ نقيَّةٍ رُبما تصبح كريسـتال، عِلماً أنَّه ليس بمقـدور جميع المواد النَّقيَّة تشـكيل الكريسـتال لأنَّهـا عمليَّةٌ دقيقـةٌ للغاية. فالـذَّرَّات فيه مُرتَّبـةٌ في نموذجٍ منتظـمٍ ومتكرِّرٍ يُعـرف بشـبكيَّة الكريسـتال التي تضـمُّ منظومةً دقيقةً من الذَّرَّات، مثل الكربون، والألماس هو شبكيَّة كريسـتال تامَّة من الكربون، بينما ترتيب ذرَّات الكربـون فـي الغرافيت الموجود في قلم الرَّصـاص هـو عشـوائيّ وغيـر مُنظَّم. وتركيبة الكربون في هذين الترتيبَين المختلفَين (شـبكيَّة الكريستال والتَّرتيب العشوائي) وتُسمَّى تركيب التَّأصُّل Allotropy.



الكريستال

## خصائص المواد الصُّلبة

يوجد ستة أنواع من المواد الصُّلبة الكريستاليَّة:

**المواد الصُّلبة الأيونيَّة:** تتكوَّن من أيونات موجبةٍ وسالبةٍ تتماسك مع بعضها بواسطة التّجاذبات الكهربيَّة السَّاكنة Electrostatic Attractions. وتمتاز هذه المواد بدرجة انصهارها العالية اللَّمعان وبكونها مُوصلات كهربائيَّة ضعيفة في حالتها الصُّلبة. وملح الطَّعام هو مثالٌ واضحٌ عن هذه المواد.



الملح



تعرّف إلى

**غيلبرت نيوتن لويس**

**Gilbert Newton Lewis**

عالمٌ أمريكي مُتخصِّصٌ في الكيمياء الفيزيائيَّة، أولى اهتمامه حول الإلكترونات وفي ظهور النَّظريّات الحديثة للرَّوابط الكيميائيَّة chemical bonding، كما شكَّل مفهومه عن الأحماض والقواعد مُساهمةً أخرى في نفس المجال. وساهم لويس بنجاح كبيرٍ في الدِّيناميكيَّة الحراريَّة Thermodynamics، والكيمياء الضَّوئيَّة Photochemistry وفَصْل النّظائر Isotope Separation.



**المــواد الصُّلبة الجُزيئيَّــة:** تتكوَّن من ذرَّات وجُزيئات مُتراصّة بواسطة قوى لندن التَّشتُّتية London Dispersion Forces، أو القوى الثّنائيَّة القطب Dipole-Dipole Forces أو القيــود الهيدروجينيَّة. وتمتاز بمرونتها، وبدرجات انصهارٍ مُنخفضةٍ وبكونها مُوصلات كهربائيَّة ضعيفة. وسكَّر القصب والشَّمندر أو السَّكروز Sucrose هو مثال عن هذه المواد.



الحجر

**الشَّبكة التَّساهميَّة (تُسمى ذَرِّيَّة أيضاً):** تتكوَّن من ذراتٍ مُتصلةٍ ببعضها بواسطة قيود تساهميَّة، وتمتاز بقساوتها، ودرجات انصهارها

العالية، وبكونها مُوصلات كهربائيّة ضعيفة. والألماس، والغرافيت، والفلورنس هي أمثلةٌ عن هذه المواد، حيث للغرافيت شكلاً مُسَدَّساً ثنائيّ الأبعاد في أسفله ممّا يجعله أقلّ قساوةٍ من الألماس.

ـ **المواد الصُّلبة المعدنيّة**: تتكوّن من ذرّاتٍ معدنيّةٍ متماسكةٍ ببعضها البعض بواسطة روابط معدنيّة. وتمتاز بدرجات انصهار عالية، ويمكن أن تكون ناعمةً وقابلةً للتّطويع أو قاسيةً وهي مُوصلات كهربائيّة جيّدة.

ـ **المواد الصُّلبة الذّرّيّة**: تتكوّن عندما يتمُّ تبريد غازات ممتازةٍ على درجات حرارةٍ مُنخفضةٍ جداً فتحبس نفسها في موقعٍ باستخدام قوى لندن التّشتّتيّة. ولن تصادف هذا النّوع من المواد الصُّلبة في العالم الحقيقيّ، لأنّها تحتاج إلى درجات حرارةٍ مُنخفضةٍ للغاية لتتكوّن.




• أنّه عندما تتغيّر المادّة الصُّلبة إلى سائلٍ، تُدعى هذه العمليّة ذوبان أو انصهار؟
• وأنّه عندما يتغيّر السّائل إلى غازٍ، تُدعى تصعُّد؟

ـ **المواد الصُّلبة غَير المُتَبَلْوِرة** Amorphous: على خلاف بقيّة المواد الصُّلبة، ليس لهذه المادّة تركيباً كريستاليّاً محدّداً، حيث تلتصق جُزيئاتها في جميع أنحاء المكان بدون نموذج ترابط مُنتظم. وبعض هذه المواد تكون ناعمةً ومطّاطيّةً (مثل البلاستيك والمطّاط) وذلك لأنّها تتألّف من جُزيئاتٍ طويلةٍ تكون متشابكةً مع بعضها البعض ومترابطةً بواسطة القوى البَيْن جُزيئية Intermolecular. ويوجد موادٌ صلبةٌ جزيئيّةٌ أخرى (تُسمى بلُّوريّة) تُشبه المواد الشّبكيّة (الذّرّيّة) كثيراً لأنّها تتألّف من ذرّاتٍ مُتلاصقةٍ ببعضها بشكلٍ غير منتظمٍ بواسطة الرّوابط التّساهميّة، عِلماً أنّ الزُّجاج هو مثالٌ عن هذه المواد الصُّلبة. ولا يحدث تغيُّر هذه المواد من الحالة الصُّلبة إلى السّائلة بشكلٍ دراماتيكيّ عند درجة انصهارٍ محدّدة، بل تتغيّر تدريجيّاً عندما تسخن.



زجاج

# السّائل


مياه

هو الحالـة الثَّانية للمادَّة، حيث المواد الصُّلبة هي تلك الأجسام التي يمكن أن تُمسـك وتحافظ علـى شـكلها، والغـازات هـي المواد التي تتطاير من حولنا أو تُحصر في فقاعات، أمّا السَّائل كالمـاء أو الـدّم فهـو الحالـة الوسط بينهما.

وكونـه يمكـن أَن يُوجـد بين الحالتيـن الصُّلبـة والغازيَّة، لا يحتّـم ذلك أن يكون دائمـاً من نفس الجزيئات، فإذا ذوَّبت مجموعةً من المواد في سـائلٍ، يدعى محلولاً. ففي الحالة السَّـائلة تتحرَّك الجُزيئـات التـي تكوّن المـادة بِحُرِّيَّة أكثر، حيث تقتصـر الحركة على الجزيئات المُكتسـبة للطَّاقة الحراريَّة. ويُحَدَّد شـكل السَّـائل بناءً على شـكل الإناء الذي يحتويه وعلى الرَّغم من أن جُزيئات السَّـائل لا تترابط معاً بإحكام مثل المواد الصُّلبة، إلَّا أنَّه غير قابلٍ للضَّغط. وجُزيئات السَّـائل هي أكثر نشاطاً من تلك الخاصَّة بالمواد الصُّلبة، وتتحرّك بسهولةٍ لكن فقط ضمن مسافةٍ مُحدَّدةٍ بعيداً عـن الجزيئات الأخرى، وذلك لأنَّ قـوَّة الجاذبيَّة تحافظ على بقائهم مع بعضهم البعض لكن مع حرِّيَّةٍ بالتَّحرك. ولأَنَّ الجُزيئات في السَّائل تكون أبعد، فحجم المادَّة في حالتها السَّائلة يكون أكبر من حجمها في حالتها الصُّلبة.

## خواصُ السَّائل

إنَّ إحـدى خواصـه أنَّه يملأ شـكل الإنـاء الذي يحتويه، فإذا سَـكَبْتَ بعض المـاء في كوب، سـيمتلئ القـاع أوَّلاً وبعدها البقيَّة، كما أنَّه سـيأخذ شـكل الكوب أيضـاً. فالجزء الأعلى من السَّـائل له سـطحٌ مُستوٍ ناتجٌ عن الجاذبيَّة التي تسـحب الجزيئات. وعند وضع مكعَّب الثَّلج في الكوب، ويتمركز في المنتصف لأنَّه صلبٌ، ولا يتغيَّر شكله إلى أن يبدأ بالذَّوبان ليصبح سائلاً.

إنَّ صعوبـة ضغط السَّـائل أكسـبته خاصَّةً أخـرى. فعندما تضغط جسـماً، تعمل على توزيع كمِّيـةٍ مُحَـدَّدةٍ من مادَّتـه إجبارياً ضمن فضاءٍ أصغر. فضغط المـواد الصُّلبة هو أمرٌ في غاية



تمتلك السَّوائل قوى تماسُك

الصُّعوبة، بينما المواد الغازيَّة سهلة الضَّغط، أمَّا السَّوائل فهي في المنتصف، لكن تميل لتكون صعبةً. وعمليَّة الضَّغط تتلخَّص بحشر الذَّرَّات لتكون أقرب من بعضها البعض، وعندما يرتفع الضَّغط الجوِّيّ، تنضغط المواد. فذرَّات السَّوائل هي بطبيعتها قريبة من بعضها البعض، لذلك من الصَّعب أن تُضغط. والعديد من مُمتصات الصَّدمات في السَّيَّارة تضغط السَّوائل في الأنابيب المغلقة.



**هل تعلم؟**

- أنَّه ليس للسَّوائل شكلاً معيناً، إنّما حجمها مُحَدَّدٌ، ويمكن أن تسيل، وضغطها صعب والتَّحكُّم بها أصعب من المواد الصُّلبة.

### قوة السّائل

هنالك قوَّةٌ خاصَّةٌ تُبقي السَّوائل مع بعضها البعض، حيث تعمل القوى البَين جزيئية Intermolecular على تماسك الجُزيئات ببعضها البعض، بينما جُزيئات المواد الصُّلبة تكون ملتصقةً ببعضها البعض ويجب فرض قوَّةٍ لإبعادها، أمَّا الغازات فهي

تثب في كلِّ مكانٍ محاولة نشر نفسها. علماً أنَّه يوجد دائماً التَّبخُّر العرضي، حيث تُحَفِّز طاقة إضافية الجزيء فيترك النِّظام. وبشكلٍ عامٍّ، تمتلك السَّوائل قوى تماسُك (التصاقيّة) تبقى عاملةً على تماسكك الجُزيئات مع بعضها البعض.

### حركة الجزيئات في السّائل

تحتوي السَّوائل على طاقةٍ أكثر من المواد الصُّلبة. فعلى سبيل المثال، عندما يكون الماء في حالته الصُّلبة (الجليد) في درجات حرارةٍ منخفضةٍ، يمُرُّ في المرحلة الانتقاليّة إلى الحالة السَّائلة عندما تضاف طاقةٌ حراريةٌ له. وتتجاوز هذه الطَّاقة قوى الجذب بين الجُزيئات في السَّائل، فتسمح لها بالتَّحرُّك بحرِّيَّةٍ، ممَّا يُؤدِّي بها إلى الإنزلاق ثمَّ الاصطدام بعضها ببعضٍ، لكنَّها تبقى قريبةً من بعضها، وتخلق قوى الجذب نزاعاً سطحيًّا، ممَّا يُشكِّل قطرات الماء، لأنَّ طاقة السَّائل ليست كافيةً لإجبار الجُزيئات الإفراديّة على التفلُّت.



تمتلك السَّوائل قوى متماسكة



**تعرّف إلى**

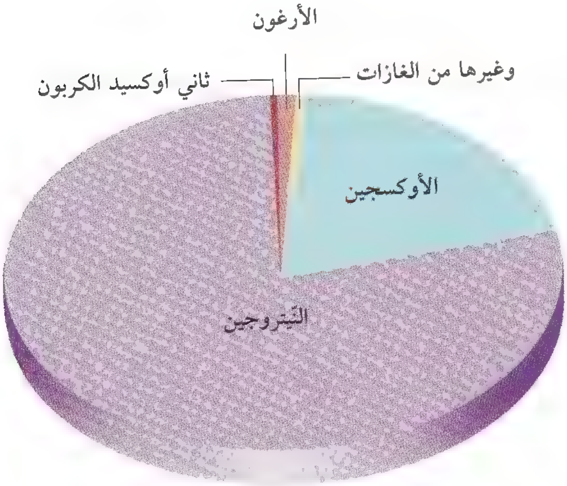
**جوهانس ديديرك فان درڤالس**

Johannes Diderik van der Waals

عالمٌ هولنديٌّ، متخصّصٌ في الفيزياء النَّظرية والدِّيناميكا الحراريَّة. فاز بجائزة نوبل للفيزياء عام 1910 عن بحثه في الحالات السَّائلة والغازيّة للمادّة. أمَّا أعماله في هذا المجال فقد جعلت دراسة درجات الحرارة القريبة من الصّفر المُطلق ممكنة.

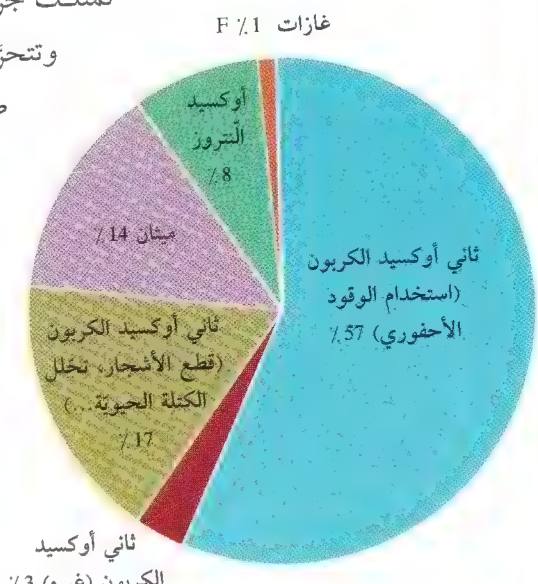


# الغاز



الغازات في الجوّ

يمكن أن تشعر بالغاز عندما تهبُّ الرِّياح، حيث يتكوَّن الهواء من غازاتٍ كثيرةٍ وهو موجودٌ في كلِّ مكانٍ حولنا. إنَّه مادَّةٌ ليس لها شكلٌ أو حجمٌ أو لونٌ، وعندما تزداد درجة حرارته (بإضافة الطّاقة) تتحرَّك ذرّاته بسرعةٍ، وتتباعد بشكلٍ واسعٍ وتنتشر في كلِّ الإتجاهات. وعندما يكون الغاز في إناءٍ، تنتشر ذرَّاته بشكلٍ متساوٍ، مثل المنطاد الذي تنتشر فيه الذَّرَّات بشكلٍ متساوٍ ممَّا يُؤدِّي إلى ارتفاعه بشكلٍ متوازٍ.



تركيب الهواء

تمتلك جُزيئات الغاز كميةً كبيرةً من الطّاقة الحركيّة وتتحرَّك بسرعةٍ وبشكلٍ عشوائيٍّ، وعندما تُضاف طاقةٌ حراريَّةٌ كافيةٌ تتغلَّب الجُزيئات بشكلٍ كاملٍ على قوى الجذب الخاصّة بها، لا شكلٌ أو حجمٌ محدَّدٌ لها، قابلة للضّغط جداً وتنتشر بسهولةٍ.

يمتلك الغاز كثافةً أقلّ بكثيرٍ من المادة الصُّلبة أو السَّائلة، وأيُّ كمّيّةٍ منه ليس لها شكلاً مُحدَّداً، ممّا يجعله شبيهاً بالسَّائل ومختلفٌ عن المادة الصُّلبة من هذه النَّاحية. فإذا وُضِعَ في إناءٍ فإنَّه يأخذ شكله، كما يتغيَّر حجمه مع تغيُّر الضَّغط أو درجة الحرارة. وتوجد قوانين علميّةٌ

كثيرةٌ تُسمى قوانين الغاز تصف العلاقة بين حجم، ودرجة حرارة وضغط الغاز.

إنّ جزيئات أو ذرّات الغاز هي أبعد عن بعضها البعض من جزيئات وذرّات المادّة الصُلبة أو السَّائلة. كما أنَّها تتطاير عادةً بسُرعاتٍ عاليةٍ مصطدمةٍ أحياناً بعضها البعض أو بالإناء الذي يحتويها. وعندما يبرد الغاز أو يتعرَّض لضغطٍ مرتفع، فإنَّه يتكثَّف ويتحوَّل إلى سائلٍ قابلٍ للتحوُّل إلى غازٍ مرَّة أخرى إذا تَمَّ غَلْيَه أو تبخيره. ويمكن أن تتحوَّل المادة الصُّلبة مباشرةً إلى غاز (دون المرور بالحالة السَّائلة) وذلك ضمن ظروفٍ معيَّنةٍ تكون عادةً ضغطاً منخفضاً جداً، حيث يُسمّى هذا التحوُّل بالتَّصعُّد Sublimation.



**هل تعلم؟**

• أن الغازات يمكنها أن تملأ أيّ إناء بأيّ شكلٍ أو حجمٍ؟

يتألَّف معظم الغلاف الجوّي للأرض من غاز الأوكسيجين أو النّتروجين. وتُملأ المناطيد غالباً بغاز الهليوم الأخفّ (أقلّ كثافةً) من الهواء، لذلك تجده يرفع المنطاد الهيليوم في الجوّ. وعندما يغلي الماء السَّائل أو يتبخَّر يتحوَّل إلى غازٍ يُسمى بخار الماء. ومُعظم الغاز



انبعاث للغازات

فـي طبقات جَـوّ الكواكـب العملاقة مثل المشـتري وزُحَل هـو هيدروجين، وفي السَّـنوات الأخيـرة أَصبـح غـاز ثِانـي أكسـيد الكربون مشـهوراً بسـبب دوره فـي الاحتبـاس الحراريّ والاحترار العالميّ Global Warming.

## أنواع الغازات

**غاز الأوكسـيجين:** هو بلا لونٍ، أو طعمٍ، أَو رائحةٍ، أَمّا الأوكسـيجين الصُّلب والسَّائل فلونه أزرقٌ باهتٌ. يتفاعل الأوكسيجين مع كلِّ العناصر ما عدا الغازات الخامدة، ليُشكّل مُركبات تُسمّى الأكسـيدات. وتتفاوت نسـبة التَّفاعل هذه المعروفة بالأكسـدة، فعلى سـبيل المثال: يتأكسـد المغنيزيوم بسـرعةٍ ويشـتعل تلقائياً في الهـواء. أمَّا الفلزات النَّبيلـة Noble Metals مثـل الذَّهب والبلاتينيوم، فتتأكسـد فقـط في درجاتِ الحرارةِ العاليةِ جـداً. وعلى الرَّغم من أنَّ الأوكسيجين نفسه هو غير قابلٍ للاشتعال، إنَّما يُحَفِّز الاحتراق ويُمَكِّن كلّ المواد القابلة للاشـتعال في الهواء من الاحتراق بقوَّةٍ أكثر، ولهذا يتمُّ اسـتخدامه في الكثير من التَّطبيقات الصِّناعيّة.




• أنَّ الغـازات تحمل كميَّةً كبيرةً من الطَّاقة وتنتشـر جُزيئاتها بقدر المستطاع؟

• وأنَّك إذا سَخَّنت الماء يتحـوَّل إلـى بخـارٍ وهو الشَّكل الغازي للماء؟

• وأنَّ النِّيـون Neon هو مثالٌ عن الغـازات النَّقيَّة التـي تتكـوَّن مـن ذرَّةٍ واحدةٍ فقط؟

**النَّتروجين:** هو غازٌ غير فلزيّ ثنائيّ الذَّرَّة عديم اللَّون والطَّعم والرَّائحة، وهو خامدٌ نسـبيًّا، لكن بكتريا التُّربة يمكنها تعديله لتتمكَّن النَّباتات والحيوانات من استخدامه لصنع الأحماض الأمينيَّة والبروتينات. ومركَّبـات هـذا الغـاز موجـودةٌ فـي الطَّعـام، والمُخصِّبـات، والسُّـموم، والمتفجِّـرات، كمـا أنَّ 3 ٪ مـن وزن جسـمك هو نتروجين، وهو مسـؤولٌ عن تكوين ألوان الفجر مثل الأخضر المُـزرَق، والأحمر المائـل إلى البرتقاليّ، والبنفسـجي المائل إلى الأزرق، والألوان البنفسجيَّة الدَّاكنة.

**الغاز الطَّبيعيّ:** هو غازٌ غير قابلٍ للاشتعال عديم اللَّون، والطَّعم والرَّائحـة. وهو غير سـامٍّ وأخـفُّ من الهواء، ويتألَّف بشـكلٍ رئيسٍ من الميثـان (CH4)، كما يحتوي على هيدروكربونات أخـرى مثـل الإيثـان Ethane، البيوتـان Butane، البروبـان Propane والنافتا Naphtha. وهو وقودٌ أحفوريٌّ مثل الفحم

والنَّفط، ويُمكن أن يوجد عالقاً في جُيُوبٍ صخريَّةٍ تحت الأرض.

**ثاني أوكسيد الكربون:** يمكن أَن يوجد بشكلٍ رئيسٍ في الهواء، وأَيضاً في الماء كجُزء من دورة الكربون. وهو واحدٌ من أكثر الغازات وفرةً في الجوِّ، ويلعب دوراً مهمّاً في العمليّة الحيويّة للنَّباتات والحيوانات، مثل التّركيب الضَّوئي والتَّنَفُّس. أمَّا الإنسان فيستعمل هذا الغاز في طرقٍ عديدةٍ ومختلفةٍ، منها استعماله في المشروبات الفَوَّارة.

**الهيليوم:** هو العنصر الثَّاني الأخفُّ وزناً والأكثر وفرةً في الكون، كما أنَّه الغاز النَّبيل الثَّاني الأقل تفاعليَّة. وهذا الغاز خفيفٌ، وخامد وعديم اللَّون والطَّعم والرَّائحة، ويتصدَّر قائمة الغازات النَّبيلة. والهيدروجين هو الغاز الوحيد الأخفُّ من الهيليوم الذي يُعتبر مفيداً لقدرته على الارتفاع، وغالباً ما يُستعان به في مناطيد أعياد الميلاد والطَّقس.



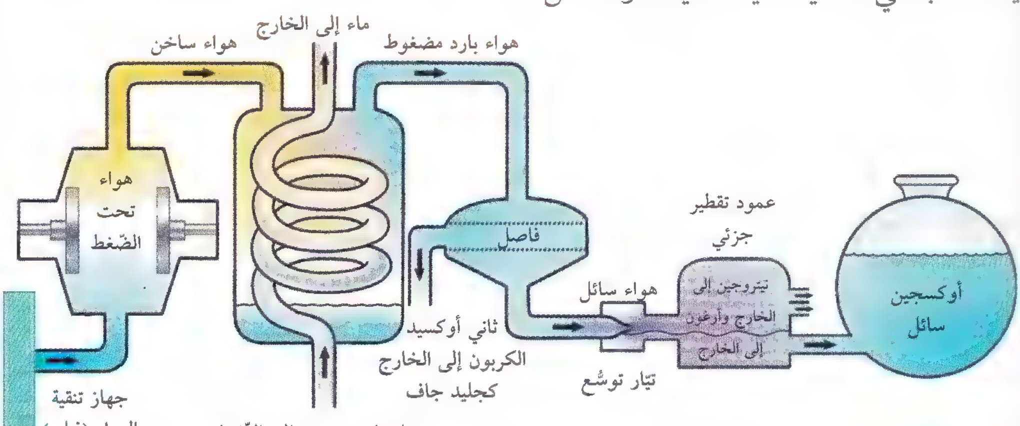
### تعرَّف إلى

**روبرت بويل**

**Robert Boyle**

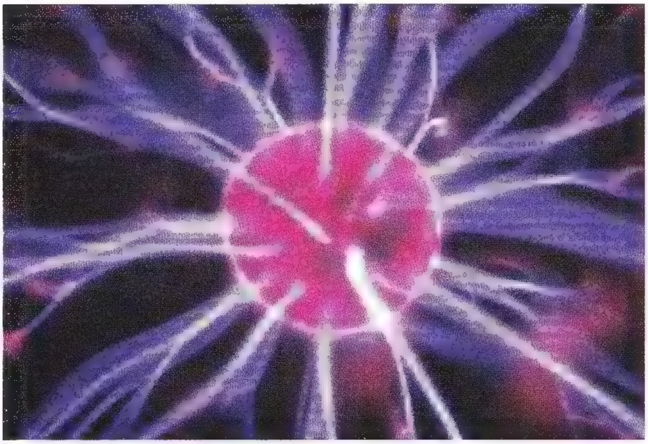
فيزيائيٌّ وكيميائيٌّ إيرلنديٌّ، وُلِدَ في 25 يناير (كانون الثاني) عام 1627، في ليسمور في إيرلندا. اكتشف قانون ضغط الغازات عام 1662 والذي عُرِفَ بقانون بويل للغازات المثالية Boyle's Law of Ideal Gases يَصِفُ فيه العلاقة المتناسبة عكسيّاً بين الضَّغط المُطلق وحجم الغاز، ومات سنة 1691.






تكوين الغازات

# البلازما



غاز ساخن

هي الشَّكل الأكثر وفرةً من المادَّة، حيث تُشَكِّل بحراً غازيّاً من الإلكترونات والأيونات التي تتحرَّك بسرعاتٍ عاليةٍ جدّاً، ممّا يخلق طاقةً حراريَّةً كافيةً لسحب الإلكترونات النّواة وتكوين أيون مُوجب. والبلازما هي الحالة الرَّابعة للمادَّة، بعد الحالات الصُّلبة، والسَّائلة، والغازية، المعروفة جيِّداً، وهي نادرةٌ على الأرض لكنَّها موجودةٌ بوفرةٍ في جميع أنحاء الكون وتضمُّ تقريباً 99٪ من المواد المعروفة، حيث تتألَّف النُّجوم، أطراف البرق والأيونوسفير بشكلٍ رئيسٍ منها.

والبلازما هي في الواقع حالةٌ غازيَّةٌ، لكن نتيجة عددٍ من الخواص الفريدة تُعتبر حالةً خاصَّةً، فهي تختلف عن الغاز لأنَّها تتألَّف من مجموعةٍ من الجُزيئات المشحونة إيجابيّاً وسلبيًّا. ففي غاز النُّيون على سبيل المثال تتّجه كلُّ الإلكترونات نحو النَّواة، أمَّا في بلازما النّيون فهي تتحرَّك بحرِّيةٍ حول النّظام.



ضوء مشع

### تكوُّن البلازما

في أغلب الأوقات لا نجد البلازما الطَّبيعيَّة حولنا، بينما البلازما الصِّناعيَّة مُنتشرةٌ في كلِّ مكانٍ. فمثلاً إنَّ مصابيح الفلوريسنت Fluorescent ليست مثل المصابيح العاديّة، حيث تضمُّ الأولى أنبوباً طويلاً من الغاز داخلها، وتدفُّق الكهرباء عبر هذا الأنبوب عندما يتمُّ اشعالُ الضَّوء، فتعمل الكهرباء كمصدر طاقةٍ وتشحن الغاز. وهذا الشَّحن

والتَّحفيـز للـذَّرَّات يخلـق بلازمـا مُتَوهِّجـة داخـل المصبـاح، وتسـاعد الكهربـاء علـى سـحب جُزيئـات الغـاز مـن إلكتروناتهـا.
ومثـال آخر عن البلازمـا هو لافتة النُّيون التـي تعمل مثـل مصابيح الفلوريسـنت، حيـث تتألَّف من أنابيب زجاجيَّةٍ مملوءةٍ بالغـاز. وعندما يتمُّ إشـعال الضَّـوء، تدفَّق الكهرباء عبر الأنبوب وتشـحن الغاز لتخلق بلازمـا داخله. وتسـتخدم الغـازات الخامدة عـادةً داخل أنابيـب اللاّفتات لخلـق ألوانٍ مختلفـةٍ، وذلـك مثـل الغـازات النَّبيلـة كالهيليـوم (He)، والنُّيون (Ne)، الأرغون (Ar) والزّينون (Xe).
ويمكنـك أيضاً رؤية البلازما عند النَّظَر إلى النُّجـوم التي هي عبارة عن كُرَاتٍ كبيرةٍ من الغـازات تحـت درجات حـرارةٍ عاليةٍ جدّاً تشـحن الذّرات وتخلق البلازما. فالنُّجُوم تُشَـكِّل مثـالاً جيـداً عن تفاوت درجاتٍ حـرارة البلازمـا، والتي تتـراوح من عدّة آلاف درجـةٍ مئويـةٍ فـي البلازمـا كسـفير إلى عدَّة ملايين درجـة مئويةٍ في التَّيَّار الحلقي.



## تعرف إلى

### السير وليام كروكس
### Sir William Crookes

كيميائيٌّ وفيزيائيٌّ بريطانيٌ، معروفٌ اكتشف عام 1879 الحالة الرَّابعة للمادَّة التي تُسمّى الآن بلازما. كان وليام كروكس رائداً في مجال الأنابيب المُفرَّغة حيث اخترع أنبوب كروكس Crookes tube، كما اخترع مقياس الطّاقة الإشعاعيَّة radiometer الذي يُصنع ويباع اليوم كسلعةٍ جديدةٍ.



بينمـا درجـة حرارة البلازما الأبرد في الأيونوسـفير والبلازماسـفير تُعطى فـي درجات كيلفين، أمَّـا البلازمـا الأعلى حـرارةً الخاصـة بالغلاف المغناطيسـي Magnetosphere فتُعَرَّف بشـكلٍ عـامٍّ وفـق مُعَدَّل الطَّاقـة الحركيَّة للجُزيئـات التي تؤلِّفها وتُقـاس بوحدة الفولتـات الإلكترونيَّة Electron Volts. والفولت الإلكتروني هو الطَّاقة التي يكتسبها إلكترون وهو في حالة تسارعٍ خـلال اختلافٍ مُحتمـلٍ بقيمة فولت واحد، حيثُ يكافئ 11,600 درجـة كيلفين. وعلى الرَّغم مـن أَن هذه المعطيات هي هادفة، إلَّا أَنَّها تُسْـتَخْدَمُ بشـكلٍ واسـعٍ في الفيزيـاء الفضائيّة فقط، وغالباً ما يتمّ تصنيف بلازما الغلاف المغناطيسي كباردةٍ أو حارَّةٍ ببساطةٍ.

## خواص البلازما

يمكن أن تؤثر الحقول الكهربائيّة والمغناطيسيَّة على البلازما عبر المسافات الشّاسعة في الفضاء. وبسبب جزيئاته المشحونة كهربائيّاً والتي تتدفّق بحرِّيَّةٍ، ويمتلك البلازما ميّزات فريدةً وكثيرةً. فعدد بروتوناته وإلكتروناته المُتكافئ يجعله محايداً كهربائيًّا، ولكن بسبب تدفُّقهم الحُرّ، تؤثر عليه الحقول الكهربائيّة والمغناطيسيّة بشكلٍ فريدٍ، حيث يمكن أن تجعله يشكِّل نوعيّةً متماسكةً لا تمتلكها الغازات الطبيعيّة، مثل أيونوسفير الأرض، وذلك عبر مسافاتٍ كبيرةٍ.




- أنَّ البلازما يُشكّل مصدراً إشعاعياً فعّالاً لتعْقيم البسترة؟

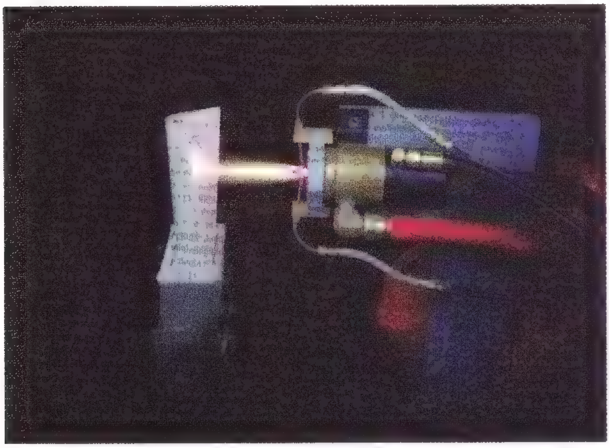
## كيف يصبح الغاز بلازما؟

يمكن أن تُأيَّن المواد الصُّلبة والسّائلة لكن غالباً وما تتبخَّر بدل أن تتحوّل إلى بلازما والذي يتطلَّب درجات حرارة مُتطَرِّفة جداً ليتكوَّن، فالبلازما ليست دائماً حارَّةً، إنَّما يُمكن أن تكون



تلحيم البلازما المجهري

باردةً أيضاً، وطالما أنَّ المادة مؤينة. فضوء الأنبوب يكون بارداً نسبيّاً عندما تلمسه، لذلك يتمُّ تعريف شاشة التّلفاز على أنَّها بلازما. والفضاء الخارجي ما بعد نظامنا الشَّمسي كلّه بلازما، وحوالى 99٪ من الكون في حالة بلازما. عندما يستعمل مصدر حراري لإثارة غازٍ إلى حالة البلازما، يُسمَّى بلازما حراري وهو يبعث حرارةً، أو ضوءً، أو إشعاعاً، أو ضجَّةً، أو اهتزازاً أكثر.



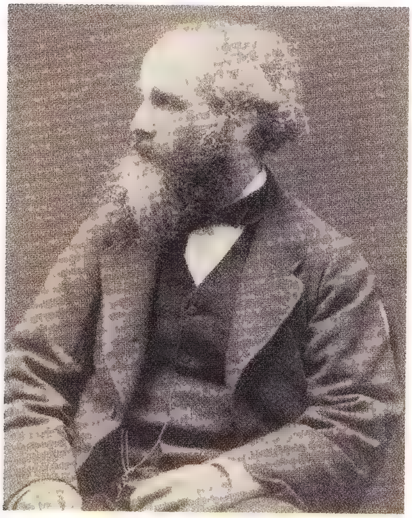
بخّاخ بلازما

### استخدامات البلازما

تُستخدم طريقة تلحيم البلازما المجهريَّة لربط صفائح معدنيَّة بسماكة الورق، حيث يتمُّ إخفاء الرَّابط بعد تلميعه. وتعتمد هذه الطَّريقة في الخزَّانات المعدنيَّة للمياه وأدوات منزلية أخرى. وهناك أيضاً عمليَّة رشّ البلازما التي تعتبر أكثر استخدامات البلازما الحراريّة سحراً، وتُستخدم كنظام تغليف لجمع أيِّ مادَّةٍ مع أي مادَّةٍ أخرى...

- **معدن على آخر:** حيث يُضاف التيتانيوم Titanium لتنعيم الفولاذ، ممَّا يمنعه من الصَّدأ.
- **لا معدن على معدن:** إضافة أكسيد الألومنيوم على الفلاذ الذي لا يصدأ، حيث يحول دون تآكله أثناء عمليات التَّصنيع.
- **معدن على لا معدن:** يُضاف النُّحاس على البورسيلين الذي يُستخدم في المُكثَّفات الكهربائيّة، حيث يُصبح بالإمكان تعليق الأسلاك الكهربائيَّة بالبورسيلين.

# النَّظريَّة الحركيَّة



جايمز كليرك ماكسويل

تشرح سُلوكيات الجُسيمات في المادَّة من خلال تفسير الخواص المرئيّة للغازات، مثل الضَّغط، ودرجة الحرارة أو الحجم مع الأخذ بعين الاعتبار التَّركيب الجُزيئي والحركة. تنصُّ هذه النَّظريّة على أنَّ الغازات تتكوَّن من عددٍ كبيرٍ من الجُسيمات الصَّغيرة التي تكون في حركةٍ ثابتةٍ وعشوائيةٍ. وهذه النَّظرية التي أثبتها جيمس كلارك مكسويل James Clerk Maxwell بشكل رئيسٍ ولودفيغ بولتزمان Ludwing Boltzman، هي واحدةٌ من أهمِّ المفاهيم في العلم الحديث. وتقوم هذه النَّظرية على ثلاث فرضيَّات بسيطةٍ هي:

1 ـ المادَّة مُكوَّنة من جُسيمات صغيرةٍ (ذرات، وجزيئات، وأيونات).

2 ـ تبقى الجُسيمات في حالة حركةٍ ثابتةٍ وعشوائيَّةٍ.

3 ـ تتصادم الجُسيمات ببعضها وبجُدران الوعاء الذي يحتويها.



تفقد الجُسيمات بعضاً من طاقتها عند اصطدامها بالجسيمات الأخرى، لكن كمِّية الطَّاقة المفقودة تكون ضئيلةً جدّاً ويُمكن إهمالها في معظم الحالات حتى نتمكَّن من تصوُّر النَّظريَّة الحركيَّة، وسنعتبر أنَّ كلَّ جُسيمٍ هو عبارة عن كُرة طاولةٍ صغيرةٍ، حيث تقفز هذه الكُرات وتتصادم مع بعضها البعض. إنّ تصوُّرنا للمسألة عقليّاً بهذه الطَّريقة يمكن أن يساعدنا على فهم حركة الجُسيمات في المادة.

**هل تعلم؟**

- أنّ النَّظريَّة الحركيَّة تنطبق على السّوائل؟
- وأنّ الغازات والمواد الصُّلبة، لكن يتّضح تفسيرها بشكلٍ أفضل في الغازات؟

## يمكن استخدام النَّظريَّة الحركيَّة في توصيف الحالات الفيزيائيَّة للمادَّة

**المادَّة الصَّلبة**: هي المادة التي لجسيماتها طاقةٌ حركيَّةٌ مُنخفضةٌ،

حيث تبقى هذه الجسيمات قريبةٌ من بعضها بواسطة قوّة الجذب بين الجُزيئات. ولأنَّ الجُسيمات قريبةٌ جدّاً من بعضها فهي تبدو وكأنّها تحوم حول نقطةٍ ثابتةٍ. وعند ارتفاع درجة حرارة المادَّة الصَّلبة، تزداد سرعة الجسيمات، فيحصل التَّصادم بينها بقوةٍ أكبر مُؤدِّياً إلى ابتعادها عن بعضها وبالتّالي انهيار التَّرتيب المُنَظَّم للمادَّة الصُّلبة، فيحدث التَّغيير في الحالة الفيزيائيّة.

**السَّائل**: هو المادَّة التي لدى جسيماتها ما يكفي من الطَّاقة الحركيَّة لتمديد قُوَّة الجذب بين جزيئاتها.. والتَّصادمات بين جسيماتها تكون قويَّةً لدرجةٍ أَنَّها تجبرها على الانفصال، ويترافق هذا مع حدوث حركاتٍ اهتزازيَّةٍ لأنَّها ما زالت تحت تأثير قُوَّة الجذب بين الجُزيئات. وعند ارتفاع درجة الحرارة تزداد سرعة الجُسيمات، وفي النِّهاية تُصبح قوَّة التَّصادم كبيرة لدرجة تُمَكِّن الجسيمات



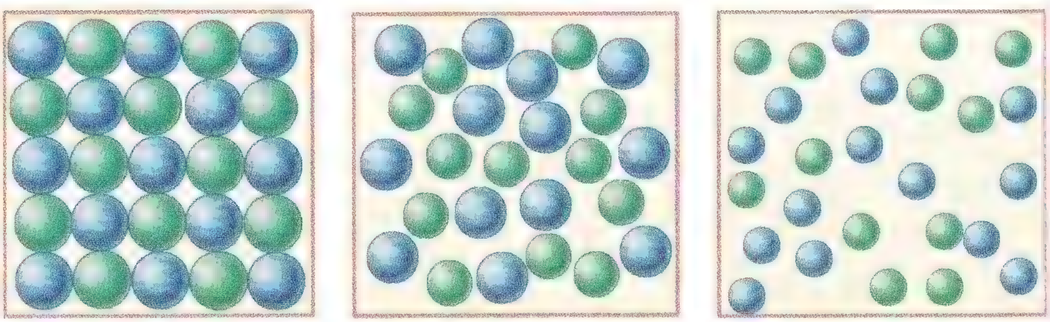
**تعرّف إلى**

**لودفيغ بولتزمان**

**Ludwig Boltzmann**

لودفيغ إدوارد بولتزمان: عالمٌ فيزيائيٌّ نمساويٌ، كان إنجازه الأعظم في تطوير الميكانيكا الإحصائيّة Statistical Mechanics. حصل على شهادة الدكتوراه من جامعة فيينا في عام 1866 عن إطروحته حول النَّظريّة الحركيّة Kinetic Theory للغازات والتي أَشرف عليها جوزيف ستيفان Josef Stefan.





تُستخدم النّظريّة الحركيّة لوصف الحالات الفيزيائيّة الصّلبة والسّائلة والغازيّة

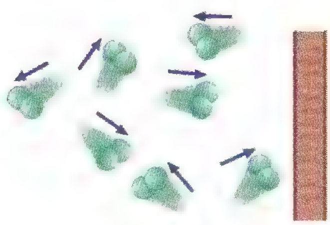
من تحطيم جميع قوى الجذب بين الجزيئات لكونها تتحرَّك بشكلٍ مستقلٍّ وسط التَّصادمات، فيحدث التَّغيير في الحالة الفيزيائيَّة.



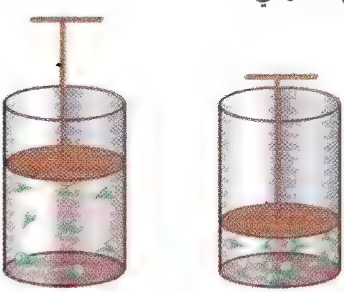

• أنَّ الحرارة هي نقل الطَّاقة الحركيَّة بين الجزيئات، فالجُزيء مُنفرداً لا يمتلك حرارة؟

**الغــاز:** هو المادَّة التي تمتلك جسيماتها ما يكفي مـن الطَّاقة الحركيَّة لتحطيـم جميـع قـوى الجـذب بيـن الجزيئـات. فجُسيمات الغاز تتحرَّك بشكلٍ مستقلٍّ عن بعضها وبشكلٍ عشوائيٍّ لأنَّها تغلَّبت على قوَّة الجذب بين جزيئاتها. وعندما تزداد درجة حرارة الغاز الى حدِّها الأقصى، أكثر من 5000 درجة، وتزداد طاقته الحركيَّة بحيثُ يؤدِّي التَّصادم إلى انتزاع الإلكترونات من الذَّرَّة، فيحدث التَّغيير في الحالة الفيزيائيَّة.

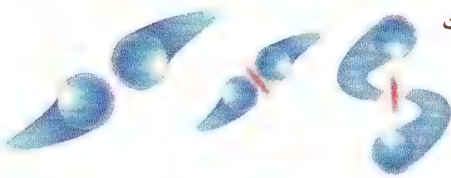
## النَّظريّة الحركيَّة للغازات (من النَّموذج الجزيئي)



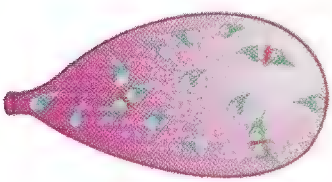
الذَّرَّات في حركة عشوائيَّةٍ دائمةٍ وتسافر في خطوطٍ مستقيمةٍ إلى أن تصطدم ببعضها



تتألّف الغازات من ذرّات (جزيئات) صغيرة جداً بالنِّسبة إلى حجم الغاز



كلُّ التّصادمات مرنة تماماً



كثيراً ما تتصادم الذّرّات ببعضها وبجدار الإناء



قوى التَّجاذب أو التَّباعد بين الذّرّات ضئيلة

تدفُّق الغازات

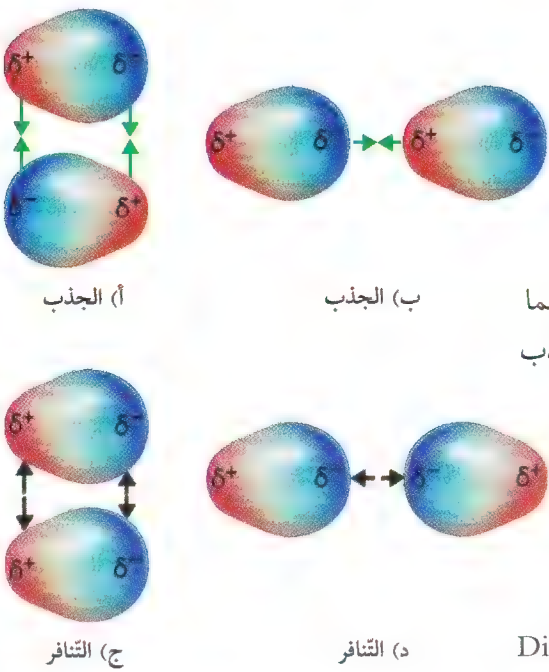
# قوى الجذب بين الجزيئات

تسمّى هذه القوى داخل الذَّرَّة بالقوى الضَّعيفة، لأنَّها أضعف بكثيرٍ من الرَّوابط بين الذَّرَّات، وهي تشتمل على جذب إلكترون من ذرَّةٍ ما نحو بروتون من ذرَّةٍ أخرى. وعندما تتفاعل هذه القوى بين الجُزيئات تتحوَّل إلى قوى فان دير والس Van Der Waals Forces، التي ندرج البعض من أنواعها فيما يلي:

## القوى ثنائيّة القطب Dipole - dipole forces

ينجذب جزيئان كلٌّ منهما ثنائيّ القطب بشكلٍ دائمٍ إلى بعضهما البعض. جُزيء الماء وهو ثنائيّ القطب (جزيء قطبي)، ينجذب فيه إلكترون الهيدروجين إلى ثمانية بروتونات من الأوكسجين. فشكل جزيء الماء يؤدّي إلى حصول جانب من الجزيء على شُحنةٍ موجبةٍ ضعيفةٍ والجانب الآخر يحصل على شحنةٍ سلبيّةٍ ضعيفةٍ، وبالتَّالي تنجذب جُزيئات الماء إلى بعضها البعض بسبب خصائصها القطبيّة. فالجانب السَّالب لِجُزَيء ينجذب إلى الجانب الموجب من جزيء آخر. والجدير بالذِّكر أنَّ الكثير من الخصائص المُميَّزة للماء هي ناتجةٌ عن قوى الجذب الثُّنائي القطب.

تحوي الكثير من الجُزيئات على روابط تقع بين أطراف الرَّوابط الأيونيّة والرَّوابط التَّساهميّة، علماً أنّ الاختلاف بين كهربيّة الذَّرَّات في هذه الجُزيئات يكون كبيراً بما يكفي لتتوزَّع الإلكترونات بشكلٍ غير متساوٍ، كما أنَّها تكون صغيرةً بما يكفي بحيث لا تنجذب الالكترونات إلى ذرَّةٍ واحدةٍ وبشكلٍ حصريٍّ وتشكِّل بالتَّالي أيونات موجبةٍ وأخرى سالبةٍ. وتعتبر الرَّوابط في هذه الجزيئات قطبيةً لأنّها تمتلك طرفين أو قطبين سالباً وموجباً، وغالباً ما تعتبر الجزيئات تضمُّ عزماً ثنائي القطب Dipole Moment. فجُزيئات حمض كلور الماء HCl




قوى ثنائيّة القطب

على سبيل المثال يمتلك عزماً ثنائيّ القطب لأنَّ ذرّة الهيدروجين هي ذات شحنةٍ موجبةٍ ضعيفةٍ، وذرَّة الكلور تضمُّ شحنةً سالبةً ضعيفةً، ونتيجةً لقوّةٍ الجذب بين الجُسيمات المشحونة بشكلٍ متعاكسٍ، تبرز قوَّة جذب ثنائيَّة القطب بين جزيئاته المتجاورة.

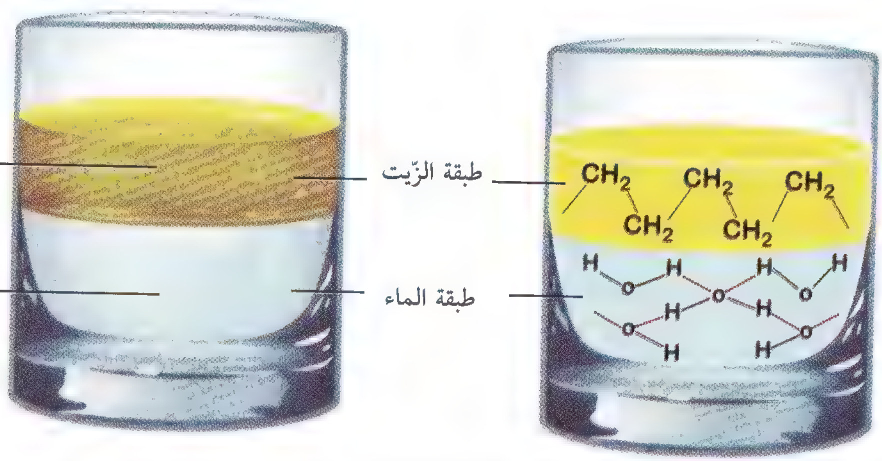
إنَّ تفاعل ثنائي القطب في حمض كلور الماء HCl هو ضعيفٌ نسبياً ويعادل فقط3.3 كيلو جول في الجزيء الواحد (الرَّوابط التَّساهمية بين ذرَّات الهيدروجين والكلور أقوى بحوالى 130 مرة). كما أنَّ قوَّة الجذب بين جزيئات هذا الحمض هي ضئيلة جداً بحيث أنَّه يغلي عند درجة الحرارة 85.0 درجة مئوية.

**هل تعلم؟**

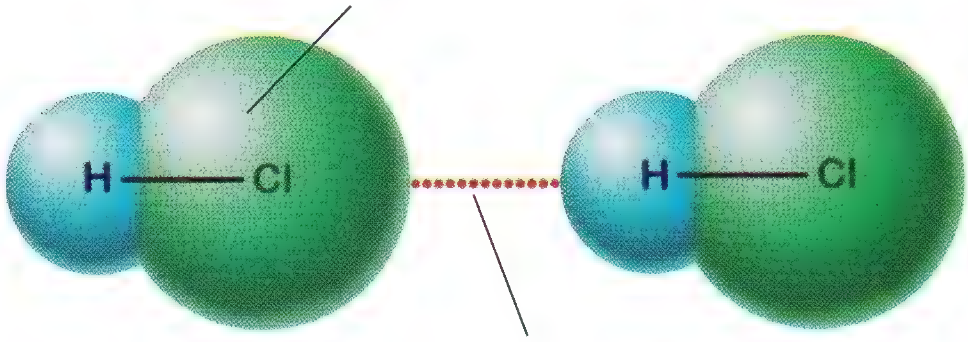
• أنَّ كلّ قوَّةٍ في خطٍ مستقيم؟
وأنّه غالباً ما يُوصف رابط الهيدروجين بأنّه تفاعل كهرباء ساكنة ثنائي قطب قويّ؟

### قوى ثنائيّة القطب المُحَفِّزة

يُحَوِّل ثنائي القطب جُزيئاً لا قطبيّاً إلى ثنائي قطب فيحصل الجذب. ما الذي سيحدث إذا مزجنا حمض كلور الماء HCl مع الأرغون الذي لا يملك عزماً ثنائي القطب؟ وتتوزَّع الإلكترونات في ذرَّة الأرغون حول النَّواة بشكلٍ متجانسٍ، لكنَّها تبقى في حالة حركةٍ مستمرّةٍ. وعندما تقترب ذرَّة أرغون إلى جزيء حمض كلور الماء القطبي، تتمكّن الإلكترونات من الانتقال إلى جانبٍ واحدٍ من النَّواة لتُنتج عزماً ثنائي القطب قصير جداً يدوم للحظةٍ فقط. وبعد تشويه توزُّع الإلكترونات حول ذرَّة الأرغون، يقوم




قوى ثنائيّة القطب

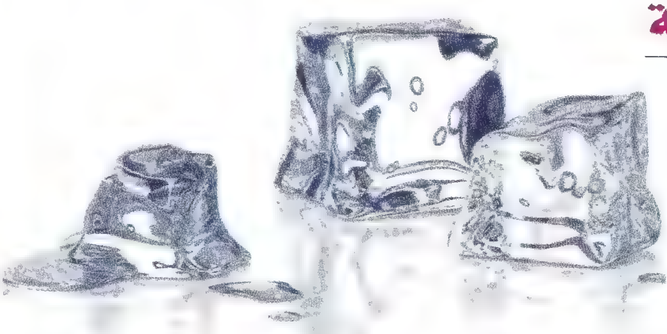



## قوى محفزة وتبدد

جزيء حمض كلور الماء القطبي بتحفيز عزمٍ ثنائيِّ القطب قصيرٌ في هذه الذَّرَّة، مما يخلق قوَّة جذب ثنائيَّة القطب مُحَفِّزة بين جزيء حمض كلور الماء HCl وذرّة الأرغون Ar، لكنَّها تكون ضعيفةً جداً لا تتعدَّى طاقة ربطها كيلو جول واحد في كلِّ جزيء.

القوى المُحَفِّزة والتَّشَتُّت: تنشأ هذه القوى من تشوُّه سحابة الشَّحنة المُحَفَّزَة من وجود جزيء آخر بالجوار، والتَّشوُّه ينشأ من الحقل الكهربائي النَّاتج عن توزُّع شحنات الجُزيء المجاوِر. وهذه القوى تكون دائماً جاذبةً، لكن مداها بشكلٍ عامٍّ أقصر من قوى الكهرباء السَّاكنة. ولا يمكن تفسير لماذا يتحوَّل الهيليوم إلى الحالة السَّائلة عند درجة حرارة أقل من 4.2 كالفنٍّ عن طريق قوى ثنائيَّة القطب أو قوى ثنائية القطب محفّزة. فذَرَّة الهليوم مُتناسقة بذاتها بشكلٍ مثاليٍّ، لكن يمكن أن تصبح حركة الإلكترونات حول نوى زوج من ذرَّات الهليوم المتجاورة متزامنة، ممّا يؤدِّي إلى حصول كلِّ ذرَّةٍ على عزمٍ ثنائيِّ القطب بنفس الوقت. وهذا التقلُّب في كثافة الإلكترونات يحدث بشكلٍ مستمرٍّ ليخلق قوّة جذب ثنائيّة القطب محفِّزة بين أزواج من الذَّرَّات. وكما قد يكون متوقّعاً، فإن هذه القوى ضعيفةٌ نسبياً في الهليوم، وتعادل فقط 0.076 كيلو جول واحد في كلِّ جزيء. لكنَّ الذَّرّات أو الجزيئات تصبح أكثر قابلية للاستقطاب عندما تكون أضخم، وذلك لوجود عددٍ أكبر من الإلكترونات لتُستَقطب. فقد ثبت أَنَّ قوَّة الجذب الرَّئيسة بين الجزيئات في اليُود الصُلب I2 وفي رباعيّ كلوريد الكربون CCl4 هي جذبٌ ثنائيٌّ قطب مُحَفِّز.

# المرحلة الانتقاليَّة



المرحلة الانتقاليَّة - ذوبان الجليد

المرحلة الانتقاليَّة: هي تحوُّل المادة من حالةٍ لأخرى، فكلُّ المواد التي نقابلها في حياتنا اليوميَّة تكون في إحدى المراحل الثَّلاث: الصُّلبة، أو السَّائلة، أو الغازيَّة.

وهذه المراحل مُهِمَّةٌ من عدَّة نواحٍ، أهمُّها لجهة فهم الكيمياء، بدءاً من الإدراك البسيط لسبب ذوبان مكعَّب الجليد، إلى فهم كيفيَّة عمل الثَّلاَّجة. ومن المهمّ في هذا القسم أن نكتسب معرفةً أفضل حول الماهيّة الفعليّة للمراحل الانتقاليَّة والسَّبب وراء ظهور الأحداث اليوميَّة.

### السّائل

هي حالة المادَّة التي تتكوَّن فيها من جُسيماتٍ تتحرَّك بحُرِّيَّة وتتَّخذ شكل الإناء الذي يحتويها. ويحدث هذا لأنَّ حركة الجُسيمات المنفردة داخل السَّائل هي أقل تقييداً بكثيرٍ من حركتها داخل المادّة الصُّلبة. لكن حتى في السَّوائل نفسها نلاحظ أن بعضها يجري بسرعةٍ في حين أنَّ البعض الآخر يكون أبطأ، وذلك لأنَّ اللُّزُوجة وهي مقاومة السّائل النِّسبيَّة للجريان، تختلف بين السَّوائل.



ذرّات السَّائل



هل تعلم؟

• أنَّنا نستخدم الغاز الطَّبيعيّ في منازلنا بحالته الغازية، لكن عندما يُعبَّأ في القوارير يُحوَّل إلى الحالة السَّائلة لتوفير المساحة؟



ذرّات المادة الصُّلبة

## المادة الصُّلبة

هي الحالة التي تكون فيها جُسيمات المادَّة مترابطةً بشدَّةٍ ولا يتغيَّر شكلها حسب شكلِ أو حجمِ الإناء الحاوي لها. لكن هذا لا يعني أنَّ حجم المادَّة الصُّلبة ثابت، فهي يمكن أن تكون قابلةً للتَّمدُّد أو التقلُّص عند تغيُّر درجة الحرارة. لهذا عندما نتفحَّص كثافة المادة نجد مع القيمة المُسَجَّلة درجة الحرارة المتوافقة معها. وتمتلك المواد الصُّلبة قوى جذبٍ قويّةٍ بين الذَّرَّات تُبقي الجُسيمات قريبةً من بعضها، كما أنّ جميع هذه المواد هي ذات بنيةٍ بلوريَّةٍ، ممَّا يعني أنّ جُسيماتها مُرتَّبةٌ وفق نمطٍ مُنتظمٍ ثلاثيِّ الأبعاد. والأجسام الصُّلبة تمرُّ بمراحلِ تحوُّلٍ عندما تتعرَّض لتغيُّرات في الطّاقة.



### تعرّف إلى

**فيرنر كارل هايزنبرغ**

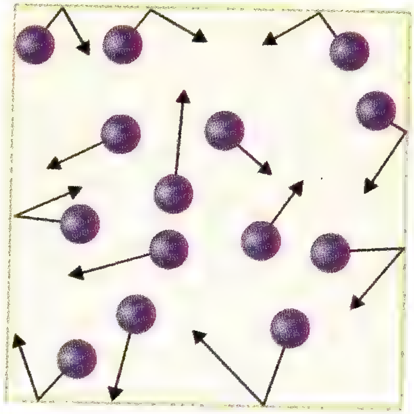
**Werner Karl Heisenberg**

عالمٌ فيزيائيٌّ ألمانيٌّ، حاز على جائزة نوبل في الفيزياء في عام 1932 لابتكاره ميكانيكا الكم Quantum Mechanics. شرح هايزنبرغ في نظريَّته حول ميكانيكا الكم طريقة المصفوفات لحالات الطَّاقة الثَّابتة المُنفصلة التي حلّت محلَّها مُعادلة إيرفين شرودينغر Erwin Schrodinger للموجات.



## الغاز

هو حالة المادة التي تكون فيها الجُسيمات مُنتشرةً دون شكلٍ أو حجمٍ مُحَدَّدَيْن، حيث تأخذ شكل الإناء الذي يحتويها وتملأ حجمه. وفي الغاز لا يوجد قوى بين الجُزيئات لتتماسك جُسيماته مع بعضها، فكُلُّ جُسيم ينتقل بسرعته واتِّجاهه الخاصَّين، وهي غالباً ما تنفصل عن بعضها في المسافات الكبيرة.



ذرّات الغاز

## تغييرات المرحلة

تتضمّـن تغييـرات المرحلـة تبـادل الحـرارة بين داخل وخـارج المنظومـة. فعلـى سـبيل المثـال: للتّحوُّل من شـكلٍ كثيفٍ إلى شكلٍ أقلّ كثافة ينبغي على المنظومة امتصـاص الحـرارة، وفي مرحلة تغيير مُعاكسـة تقوم بإطـلاق الحرارة، وهذا يتمُّ نتيجة عوامل مُتعدِّدة، منها القـوى بين الجزيئـات والرّوابط (في المـواد الصُّلبة). لنأخذ مثلاً تجربةً يكون لدينا فيها مادّة بحالتها الصُّلبة فـي البدايـة، وتتـمُّ تحـت ضغـطٍ ثابـتٍ، وبعدهـا يتمُّ تسـخين المادّة بمعدلٍ ثابتٍ، فتكتسـب جزيئاتها طاقةً حركيّـةً تدريجياً. وفي النّهاية ستكتسـب الجُزيئات طاقةً حركيّةً كافيـةً ليتحوَّل بعضها الى حالةٍ أقلّ كثافة (على شكل سائل مثلاً). وعند هذه النُّقطة وأثناء حدوث هذه العمليّة، تتحوَّل الطَّاقة الحركيَّـة (درجـة الحرارة) إلى طاقةٍ كامنةٍ، كما يتمُّ تحطيم قوى الجذب بين الجُزيئات، وتصل إلى درجة التّكافؤ الحراري، فتكتسب المزيد من حُرِّيّة الحركة. وهذه العمليّة تتمُّ بمعدلٍ ثابتٍ مـن الطَّاقـة الحراريَّـة المتدفِّقة كما هي بدون تخفيض درجة الحرارة أو السَّـماح لها بالازدياد. ويمكننـا ملاحظـة هذه العمليّة عن طريق مخطّط التّسـخين في الرّسـم البياني حيث يتمُّ تحديد درجة الحرارة كدالّةٍ تابعةٍ للوقت.

## نقطة الانصهار أو الذّوبان

إنَّ تحـوُّل المـادة الصُّلبـة إلـى الحالـة السّـائلة يسـمّى بالإنصهار أو الذّوبـان الـذي يحـدث عند درجة حـرارةٍ معيّنةٍ تُسـمّى نقطة الانصهار. وعندما تزداد الطَّاقة في الجُزيئات نتيجة ارتفاع الحرارة تبدأ بالحركة بشكلٍ أسرع، وسرعان ما تكتسب طاقةً كافيةً لتتحرَّر مـن بنيتهـا الصّلبة وتبدأ بالحركـة بسـهولةٍ أكبر وتصبـح المادّة سـائلةً. ودرجـة الانصهـار للماء هـي 0 درجة مئويّـة (32 درجة فهرنهايت)، علماً أنَّ نقطة الانصهار للمادّة الصُّلبة ونقطة التَّجمُّد للمادّة السّائلة لا تختلفان بشكلٍ شاسعٍ عند وجود ضغطٍ ثابت.




• أنّ للزّئبـق خصائص مثيرة للاهتمـام كونه معدن وسـائل فـي حالته القياسيّة؟

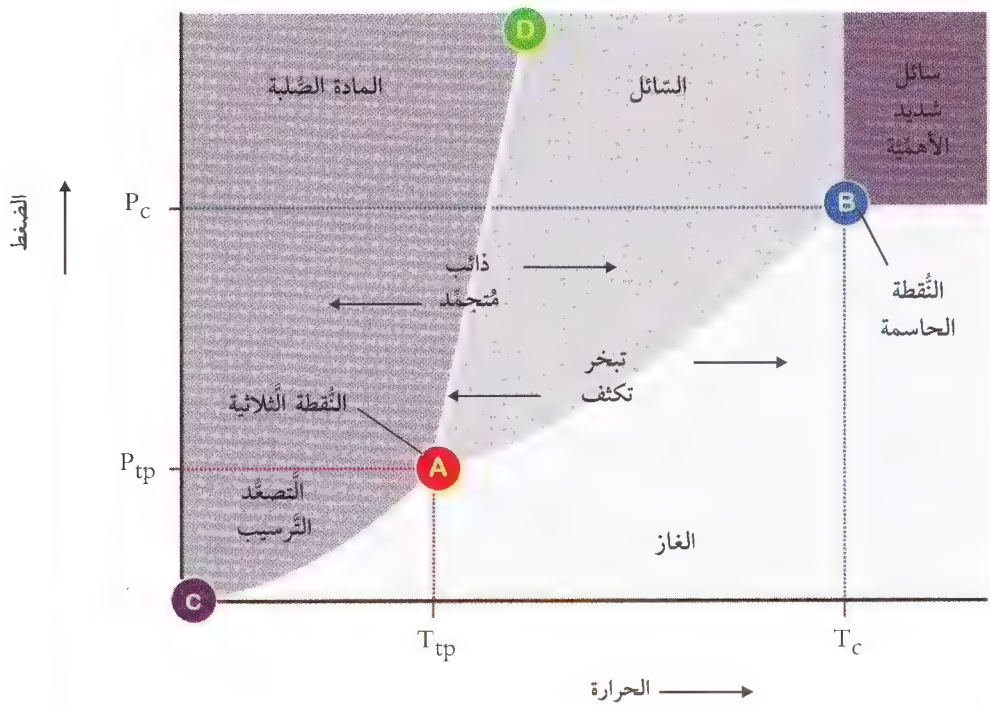
والجدير بالذِّكر أنَّ نقطة الانصهار للمادَّة الصُّلبة ونقطة التَّجمُّد للمادَّة السَّائلة هي خواص جوهريّة يمكن استخدامها لتعريف المادَّة.

## نقطة التَّجمُّد

إنَّ النَّقطة التي تتحوَّل عندها المادَّة السَّائلة إلى صلبةٍ هي نقطة تجمّدها. فالماء على سبيل المثال سوف يتجمَّد عند درجة الحرارة 0 مئوية ويتحوَّل إلى جليدٍ.

## نقطة الغليان

نقطة غليان المادَّة هي درجة الحرارة التي يمكن أن تُغَيِّر حالتها من السّائلة إلى الغازيَّة عبر تضخُّم السَّائل.




رسم توضيحي لمادة تُظهر ثلاث مراحل ـ المادّة الصّلبة، والسّائل، والغاز

# التّآصل



الفوسفور الأحمر

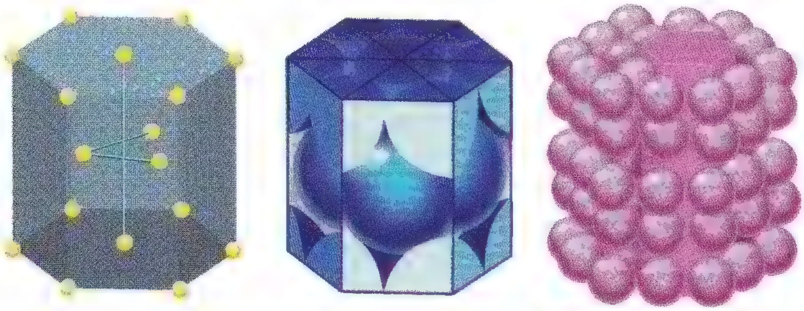
التّآصل هو ظاهرة وجود العنصر بأشكالٍ مختلفةٍ مع خصائص فيزيائيّةٍ مختلفةٍ، لكن بنفس الخصائص الكيميائيّة. والكلمة Alltropy مُشتقّةٌ من الكلمة اليونانيّة Allos التي تعني «الآخر Other» وTropos والتي تعني أيضاً «نمط Manner». فالتآصل يُشير حصراً إلى الأشكال المختلفة لنفس العنصر ضمن نفس الحالة للمادّة، ممّا يعني أنّ التّغيُّرات في الحالة (بين الصُلبة، والسّائلة، والغازيّة) لا تُعتبر تآصل. وأنّ لبعض العناصر أشكالٌ متآصلةٌ تستمرُّ في مُختلف حالات ومراحل المادّة، فعلى سبيل المثال يمكن لِكُلٍّ من الشّكلين المتآصلين للأوكسجين أن تتواجدا في الحالة الصُلبة، والسّائلة، والغازيّة. كما تُحافظ عناصر أخرى على أشكالٍ متآصلةٍ مُنفصلةٍ في بعض الحالات، مثلاً للفوسفور الكثير من الأشكال المتآصلة الصُلبة التي تعود كلّها عندما تنصهر للحالة السّائلة إلى صيغة P4 نفسها.

## تاريخ التّأصُل

تمّ وضع مفهوم التّأصُل أولاً في عام 1841 على يد العالم السُويدي البارون جونز جاكوب بيرزيليوس Baron Jons Jakob Berzelius دون أن يُقدِّم أيَّ تفسيرٍ حوله. وبعد القبول بفرضيّة أفوغادرو Avogadro في عام 1860، تمّ إدراك أنّ العناصر يمكن أن توجد كجُزيئات مُتعدِّدة الذّرّات، وتمّ التّعرُّف على الشّكلين المتأصّلين للأوكسجين O2 وO3. وبعدها في بدايات القرن العشرين تمّ إدراك أَنّ حالات أخرى كالكربون تعود إلى الاختلافات في البنية البلُّوريّة.

وفي عام 1912، لاحظ أوزتوالد Ostwald أنّ تآصل العناصر هو مُجرّد حالةٍ خاصّةٍ من ظاهرة تعدُّد الأشكال المعروفة في المُركّبات، واقترح التّخلّي عن مُصطلحي التّأصُّل والشّكل المتأصّل Allotrope واستبدالهما بمتعدِّد الشّكل Polymorph وتعدّدية الأشكال Polymorphism.

وعلى الرّغم من أنّ الكثير من الكيميائيين الآخرين قد كرّرُوا نصيحته، إلّا أنّ الاتّحاد الدُولي للكيمياء البحتة والتّطبيقيّة International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ومعظم النُصوص الكيميائيّة مازالت تُفضّل استخدام التّأصُّل والشّكل المتأصّل للعناصر. وفي الحالة النّموذجيّة، تكون العناصر مُؤهّلة لأرقامٍ متساويةٍ مُتغيّرةٍ أو حالات أكسدة تميل لإظهار أعدادٍ أكبر من الأشكال المتأصّلة، وبالإضافة إلى عاملٍ آخر مُساهم هو قدرة العنصر



التركيبات البلورية

على التَّسلسل. والأشكال المتأصّلة قابلة للملاحظة بشكلٍ نموذجيٍّ في العناصر اللامعدنيَّة واللافلزيَّة، مع العلم أنّ المعادن تميل ليكون لها الكثير من الأشكال المتأصّلة.

## أنواع التَّأصُّل

للتَّأصُّل ثلاثة أنواع:

التَّأصُّل المتماثل Enantiotropic Allotropy

التَّأصُّل الأحادي Monotropic Allotropy

التَّأصُّل الدّيناميكي Dynamic Allotropy

## التأصُّل المتماثل

عندما يوجد شكلَين للمادَّة بالحالة الصُّلبة في حالة توازن، عند درجة حرارةٍ مُحدَّدةٍ وتحت ضغطٍ طبيعيٍّ، تُسمّى هذه الحالة التأصُّل المتماثل. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يوجد الكبريت بحالته الصُّلبة في شكلَين متآصلين بلُّورين مُختلفين هما مُعَيَّن الشَّكل وأحادي. ففي درجة حرارة أقلّ من 95.5 درجةٍ مئويةٍ يكون الشَّكل المُعَيَّن مُستقرّاً، كما ستتحوَّل أي بلّورات إبريَّة للكبريت الأحادي الشَّكل التي تبرد تحت هذه الدّرجة إلى نفس الشَّكل. وبالعكس، يكون الشَّكل الأحادي مستقرّاً بين درجة الحرارة 95.5 ودرجة الانصهار 119.25 درجة مئويَّة، وعندما تبقى درجة الحرارة ضمن هذا المجال يتحوَّل شكل المُعَيَّن ببطءٍ إلى الأحادي. لكن إذا تمَّ تسخين الكبريت مُعيَّن الشَّكل بسُرعةٍ فسوف ينصهر عند درجة الحرارة 112.8 درجة مئويَّة ليُنتج سائلاً كهرمانيَّ اللَّون. يُعتبر الكبريت المُعيَّن الشَّكل والأحادي الشَّكل على أنَّهما شكلين متأصّلين متماثلين، وذلك لأنّ أحد

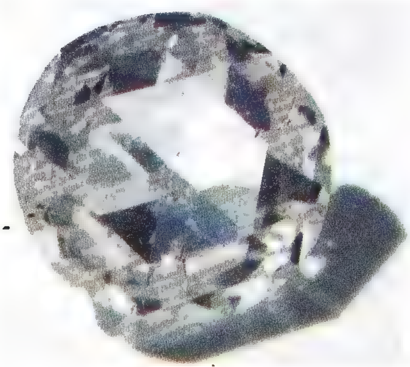
هذيـن الشَّـكلين يكـون مسـتقرّاً تحت درجـة حرارةٍ معيّنةٍ ومُحدَّدةٍ أو نقطة التَّحَوُّل في حين يكون الثَّاني مُستقرّاً فوق درجة الحرارة تلك، وكما يدلُّ إسم كلٍّ من هذين الشّكلين المتأصّلين فإنَّ الاختلاف الرّئيس بينهما هو بنيتهما البلّوريّة.



الغرافيت

## التَّأصُّل الأحاديّ

هـو النَّمـط الذي يكون فيه شـكلٌ متأصّلٍ واحدٍ فقط مسـتقرّاً، وتحـت ظـروفٍ نظاميّـةٍ يكـون الآخـر غير مسـتقرٍّ مثـل: المـاس، والغرافيـت، والأوكسـجين، والأوزون، وغيرها. والشَّكلان المتأصّلان والشَّائعان للكربـون همـا الغرافيـت والمـاس. فالغرافيـت هـو الشَّـكل المتأصّل الصّلب الوحيد المُسـتقرّ للكربون، بينمـا فـي مختلـف درجـات الحـرارة يكـون تحـوُّل المـاس إلـى غرافيـت بطـيءٌ جـدّاً. ويُعتبـر أي زوج مُماثلٍ من الأشـكال المتأصّلـة أحاديَّة النَّمط إذا كان أحدهما مسـتقرّاً عند جميع درجـات الحرارة، لذلك قـد يبدو غريباً أن يُظهر الماس مقاومة أكبـر للهجمـات الكيميائيّـة وأن تكون بنيته الجُزيئيَّة أقوى.



الألماس

ويُمكـن أن نعـزو كلّ الاختلافـات بيـن الشّـكلين المتأصّليـن للتّرتيب المُمَيّـز لِـذرَّات الكربـون في الفراغ. فـكلُّ ذرّة كربـون في الماس مُرتبطـةٌ عبر روابط متكافئةٍ لهـا نفس الطُّول بأربع ذرَّات كربون مُجاورة، ولذلك تتمدّد شـبكة الماس فـي الأبعاد الثَّلاثة كلّها. وللغرافيت بنيةٌ شـبيهةٌ بالطَّبَق، فكلُّ ذرّة كربون مرتبطةٌ بثلاث ذرّات كربـون أخرى في مُسَـطَّح واحدٍ في حيـن الرَّابط الرّابع الأكثر طولاً يشـكِّل رابطةً ضعيفةً مع ذرّة كربون في المُسـطَّح المجـاورِ. ولهـذا تجد أن الرَّوابـط المُتكافئة فـي الغرافيت لا تَشُـدّ ذرّات الكربـون مـع بعضهـا بقـوَّةٍ كما هي فـي الماس.




• أنّ الأشـكال المتأصّلـة هـي تعديـلات بنيويّـةٍ للعنصـر، حيـث تكـون ذرّات العُنصـر مُرتبطـة ببعضها بطريقةٍ مُختلفةٍ؟

قارن نتيجة سحب قطعة من الغرافيت (قلم رصاص) وقطعة من الماس على الورق. فالماس القاسي يقطع الورق في حين تتجرَّد طبقات من بلّورات الغرافيت. والبِنْية نفسها تُفَسِّر أيضاً الموصليَّة الكهربائيَّة العالية للغرافيت. وعلاوةً على ذلك، فإنَّ الغرافيت وعلى الرّغم من عدم تفاعليَّته النِّسبيَّة، فإنَّه يشارك في التَّفاعلات بسهولةٍ أكبر من الماس. فإذا قمنا بتسخين كلاًّ من الشَّكلين المتأصّلين، ينتج كلاهما ثاني أوكسيد الكربون وليس هناك فرقٌ بين جُزَيئات هذا الغاز المُتشكِّل من كلٍّ منهما.



تعرَّف إلى

**لودفيغ فالينتين لورينز**

Ludvig Valentin Lorenz

عالم رياضيّات وفيزيائي قام بابتكارِ مصطلحِ «Isomerism» (تشابه التّركيب واختلاف الخواص)، «Allotropy» التّأصُّل (اختلاف الشّكل وتشابه التّركيب) و«Protein» البروتين، كما نَشَرَ صيغةً للعلاقة الرّياضيَّة بين المُؤشِّر الإنكساري وكثافة النّاقل في عام 1896 بالاشتراك مع هندريك لورينتز Hendrik Lorentz الذي اكتشفها بشكلٍ مُستقلٍّ في عام 1870.



## التّأصُّل الدّيناميكي

أمّا النّوع الثّالث من التّأصُّل هو الدّيناميكي وهو النَّمط الذي يكون فيه توازنٌ حقيقيٌّ بين الشَّكلين المتأصّلين، ويتحوَّل أحدهما إلى الآخر بنفس السُّرعة التي يحدث فيها العكس. وكلا الشَّكلين المتأصّلين مُستقرَّين عبر المدى الواسعِ من درجات الحرارة، لهذا يكونا في حالة توازن. ويتغيَّر التَّناسب بينهما مع تغيُّر درجة الحرارة وأحياناً مع تفاوت الضَّغط. ويتجلَّى هذا النّمط من التَّأصُّل في شكلي الكبريت السَّائل، ويترافق التَّحَوُّل من شكلٍ لآخر مع تغيُّرٍ باللَّون واللّزوجة (مقاومة الجريان). فعند تسخين الكبريت أعلى من درجة إنصهاره، يصبح السّائل الكهرماني المُتحرِّك أغمق لوناً وأكثر لزوجة (سميك). وتبلغ اللّزوجة حدّها الأقصى عند درجة حرارة تقارب 180 درجةً مئويةً، حيث زيادة التَّسخين تُنتج سائلاً أدكن وأقرب إلى اللَّون الأسود مع تناقصٍ تدريجيٍّ في اللّزوجة. ويُسَمَّىٰ هذين الشَّكلين المتأصّلين السّائلين كبريت-$\lambda$ وكبريت-$\mu$.

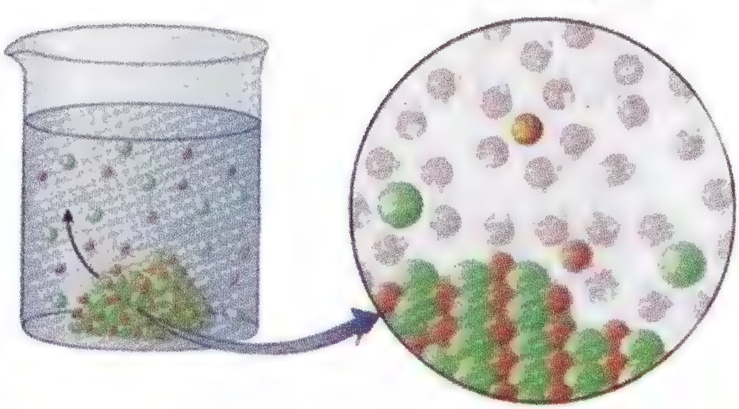
وعند درجة حرارةٍ قريبةٍ من نقطة الانصهار تكون نسبة الكبريت-λ عالية، لكن مع ارتفاع درجة الحرارة أكثر وأكثر يتحوّل الكبريت-λ إلى كبريت-μ. وتحوي جُزيئات كِلَا الشَّكلين على ثماني ذرَّات مُرَتَّبَة على شكل حلقة، تتمزَّق بالتَّسخين لتُنتج سلسلةً تظلّ مُكوَّنةً من ثماني ذرّات. والزِّيادة في اللّزوجة عند درجة الحرارة 180 درجة مئوية يعزى للتَّفاعل بين هذه السّلاسل.

ويمكن أن توجد ذرَّات الأوكسجين في جُزيئاتٍ مُكوَّنةٍ من ذرَّتين أو ثلاث ذرَّات، حيث تُسمّى الأولى أوكسيجين O2 والأخيرة أوزون O3. تُظهر هذه الجُزيئات تآصُلاً ديناميكيًا، على الرّغم من أنّه يُظهر أنَّ التّوازن يميل بشدَّةٍ لصالح جزيء O2 عند الضَّغط الجوّي الاعتيادي، وهذا يعني أنّ جُزيئات الأوكسجين في المزيج هي أكثر من جُزيئات الأوزون. كما أنَّ زيادة الضَّغط تعمل لصالح تشكيل الأوزون طالما أنَّه يُسبِّب انخفاضاً في عدد الجُزيئات التي يتمُّ استيعابها، حيث 3O2 ← 2O3

وتنشأ المواد المُتفجّرة عندما يوضع الشَّحم (على العكس من التَّعليمات) على الصَّمَّامات في أسطوانات الأوكسجين المضغوط. ويبدو من المُرجَّح أنَّ المركبات المُتفجّرة هي الأوزونيدات Ozonides، حيث يتشكَّل الأوزون نتيجةً لضغط الأوكسيجين.




• أنّ العناصر التي تعرض التآصل تتضمَّن القصدير، والكربون، والكبريت، والفوسفور، والأوكسجين؟



# تكاثف بوز وأينشتاين

### ما هو التَّكثيف؟

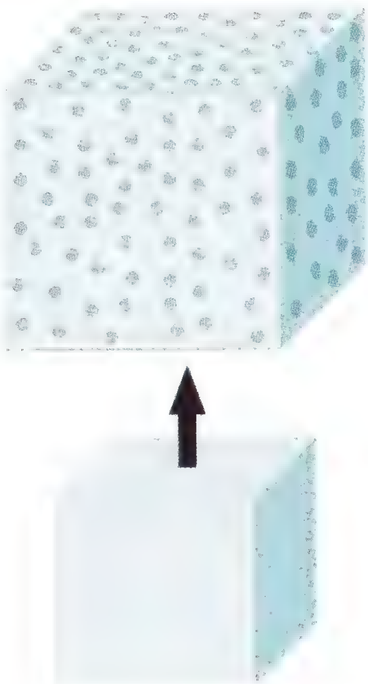
التّكثيف هو العمليّة التي تتحوّل فيها أبخرة الماء (الحالة الغازيّة) إلى قطراتٍ مائيةٍ (الحالة السّائلة) عند ملامستها لسطحٍ أكثر برودةٍ. وإنَّها العمليّة التي تُكوّن الغيوم، ولذلك فهي ضروريّةٌ لتشكُّل الأمطار والثُّلوج، وبالتَّالي إنَّ التَّكثيف مُهمٌّ لدورة المياه لأنَّه مسؤول عن تشكُّل السُّحب الماطرة التي تُساهم في عودة الماء إلى سطح الأرض.

والتَّكثيف هو عكس التّبخُّر، حيث يُشَكِّل مرحلةً مُهِمَّةً للتَّقطير الذي يُستخدم في المخابر والتَّطبيقات الكيماويَّة لِفَصْل المواد في المزيج عن بعضها. ويعتمد التَّقطير علىَ قاعدةِ أنَّ المواد المُختلفة تتبخَّر وتتكاثف في درجات حرارةٍ مختلفةٍ، وخلاله




- أنّ التّكاثف هو بخار الماء المُعلَّق في الهواء؟
- وأنّ التّكاثف يأخذ أشكالاً عديدةً، أكثرها شيوعاً هو بخار النّوافذ وتجمُّع المياه الموحلة على عتبات النَّوافذ؟

تكاثفٌ بسبب تمدّد الهواء: بعض بخار الماء في رزمة هواء مرتفعة يتحوّل إلى قطرات ماء سائلة بينما تتمدّد رزمة الهواء وتبرد

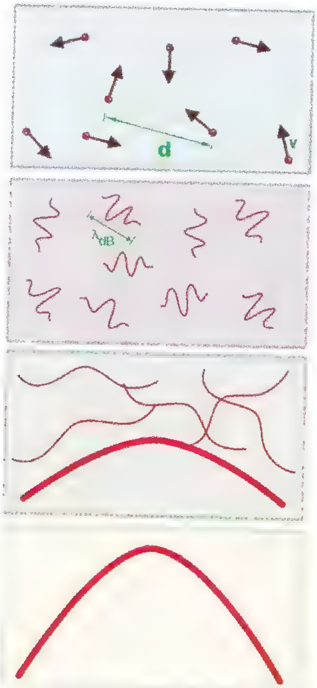


عملية التكاثف

تكاثفٌ بسبب تبريد مباشر للهواء: بعض بخار الماء في الهواء بجانب سطحٍ باردٍ يتحوّل إلى قطرات ماء سائلة



يُسَخَّن الخليط الى درجة حرارةٍ مُحَدَّدة مُسَبِّباً غليان أحد السَّوائل وتبخُّره. وفي الكيمياء، فمن الممكن للمواد أن تتشكَّل خلال تفاعلات التَّكثيف التي تحدث عندما تندمج الذّرّات أو الجزيئات لتُشَكِّل جزيئاً جديداً. وكجُزءٍ من هذا التَّفاعل الكيميائيّ، عند تشكيل الجُزيء الجديد، يُطلق الجُزيء من الماء وأحياناً من الكحول، مُعَلِّلاً سبب إعطاء هذا التّفاعل اسم التَّكثيف.




حرارةٌ مرتفعة:
سرعةٌ حراريَّةٌ
كرات البليارد

حرارةٌ منخفضةٌ
موجةٌ مادّيّةٌ

مجموعة موجات
تكاثف بوز وأينشتاين
تداخل المادة والموجة

تكاثف بوز صافي
مادّةٌ موجةٍ ضخمةٍ

## تكاثف بوز وأينشتاين

تكاثف بوز وأينشتاين هو الحالة الخامسة من المادّة بعد الصُلبة، والسَّائلة، والغازيَّة، والبلازما. ولتحقيق هذه الحالة من المادَّة تحتاج لقدرة تبريد لتخفيض درجة حرارة الغاز إلى ما يقارب الصّفر المطلق، أي: أقَلّ من واحدٍ على مليون درجة فوق الصِّفر المطلق. علماً أنَّ السَّبب الذي جعل العلماء يقومون بهذه المهمَّة الشَّاقّة كانت الخصائص المُذهلة للتَّكثيف.

إنّها حالةٌ متماسكةٌ حيث الخواص المجهريَّة لمكانيكا الكمّ تتحكَّم بسلوك النِّظام المجهريّ، فيصبح بالإمكان دراسة الطِّبيعة الكموميّة للمادّة دون الأخذ بعين الاعتبار الجُسيمات تحت الذُّرِّيّة. فمنذ نشوء هذا المفهوم، قُدِّمَت عدَّة طُرُقٍ للتَّبريد اللّيزري، عِلماً أنَّ تكاثف بوز وأينشتاين لم يُلحظ قبل ذلك بكثيرٍ.

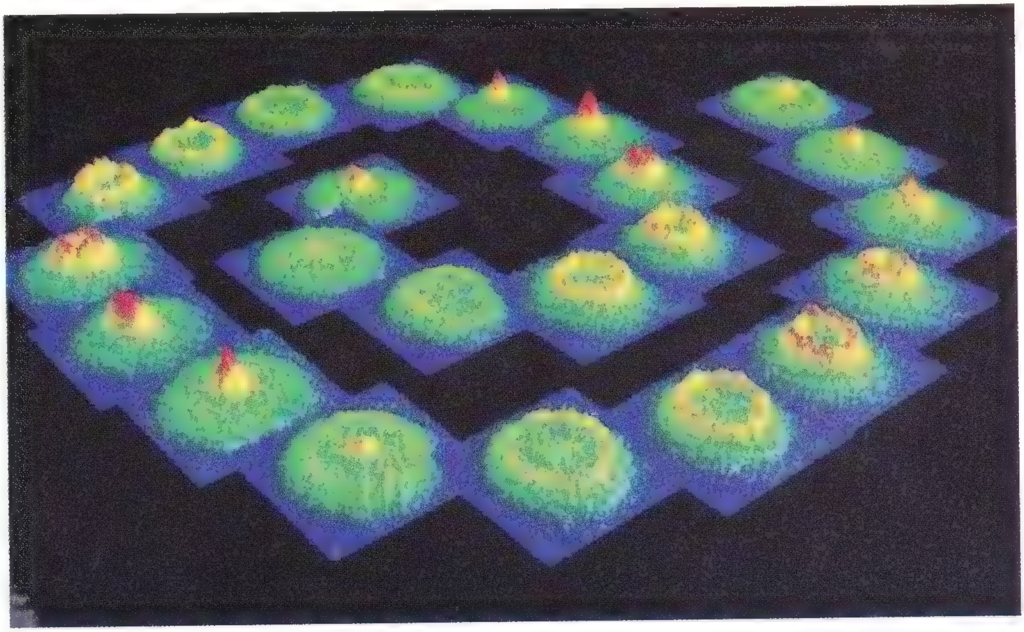
إنَّه توصيفٌ لإحصائيات الجُسيمات المُتطابقة التي لا تُمانع مشاركة الطَّاقة في المستوى الكمومي مع غيرها. ونستخلص



**هل تعلم؟**

- أنَّ تكاثفات بوز وأينشتاين تُمثِل حالةً خامسةً للمادَّة أبعد من الصُّلب، لأنَّها أقلّ حيويّة منه؟

إحـدى النَّتائـج من هذه الإحصائيّات وهو وجود الإنبعاث التَّحفيزي للفوتون وهو التّأثير الذي يستخدم لتكويـن اللّيـزر. وطبَّقَ أينشـتاين الإحصائيَّات على الـذّرّة بدل الفوتون واكتشـف أنَّه تحت درجة حرارةٍ منخفضةٍ، فكلُّ الذَّرات تتَّجه لتسقط إلى أدنى مستوى طاقةٍ ممكن الوصول إليـه. كمـا أثبتـت بيانات توزيع السُّـرعة اكتشـاف حالـةٍ جديدةٍ من المـادَّة وهـي (تكاثف بوز وأينشـتاين). وفي الشَّـكل أدناه الذي يُظهر درجات حرارة مُتدنِّية، يُظهر اندماج عدَّة ذرَّات في حالـة كمِّيَّـةٍ مجهريَّةٍ واحدةٍ. وهـذا التَّأثير يُمكن أن يفهم بمُلَخَّصٍ عامٍّ عنـد مطالعة مبدأ الرِّيبة لهايسـنبيرغ Heisenberg Uncertainty Principle الذي ينُصُّ بشـكلٍ عامٍّ أنَّه من المستحيل معرفة سـرعة وموقع جُسَـيْم وبالتَّالي بشـكلٍ مُؤكَّدٍ. فعندما يتمُّ تبريد مجموعة من الذَّرَّات إلى درجـة حـرارةٍ منخفضةٍ كافيةٍ، وتُصبح سـرعتهم مُؤكَّـدة، حيث لا بدَّ من أنَّهـم يتحرَّكون ببطءٍ شـديدٍ، أو بكلمـات أكثـر تقنيَّة، ومن المُؤكَّد أنَّ مسـتويات طاقتهم الكمِّيَّـة أصبحت منخفضةً. وبالتَّالي فإنّ هذا يُسَبِّب تشـويهاً لمواقعهم ممَّا يؤدي إلى تراكم الذَّرَّات المُنفردة على بعضها. وفـي تكاثـف بوز وأينشـتاين، يمكن اعتبار الـذَّرَّات العديدة المتراكمة كـذرَّةٍ واحدةٍ خارقةٍ في حالـة كمِّيـةٍ مُنفـردةٍ. وهـذا التَّكاثف هو هَـشٌّ جداً، حيث أنَّ أقـل تفاعُلٍ مع العالـم الخارجيّ ممكـن أن يكـون كافيـاً لزيادة درجة الحـرارة بعد بدايـة التّكاثف، مما يُؤدِّي إلـى إعادة تفتيت



دوران تكاثف بوز ـ أينشتاين

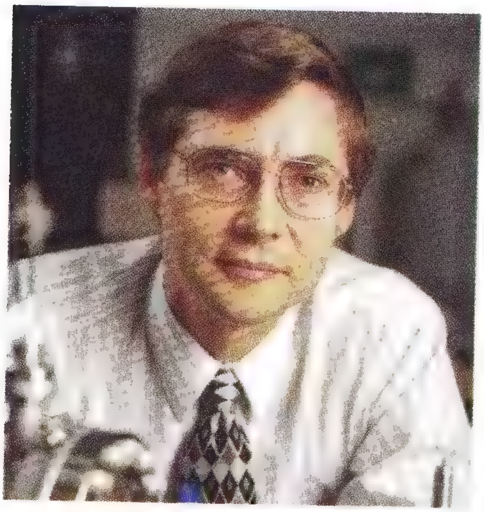
الذَّرَّة الخارقة إلى ذرَّاتٍ منفردةٍ مرَّةً أخرى، عِلماً أنَّه من المحتمل أنّ بعض الوقت سوف يمرُّ قبل ملاحظة تطوُّر أي تطبيقاتٍ عمليّةٍ عليهم. وعلى أيِّ حالٍ، فإنَّ هناك خواصّ عديدةً ممتعةً كانت قد لُوحظت مسبقاً في المُختبرات. فعلى سبيل المثال، يمتلك تكاثف بوز وأينشتاين كثافةً بصريّةً شديدةً ناتجةً عن سرعةٍ قياسيّةٍ مُتَدنِّيةٍ للضَّوء ضمنهم، حيث أبطأت بعض التّكاثفات أشعَّة الضَّوء بضع أمتار مُجَرَّدة في الثّانية، أي أبطأ من سرعة إنسان يجرُّ دراجته. كما يمكن استخدام هذا التّكاثف كنموذجٍ للثّقب الأسود Black Hole، حيث يسمح للضّوء بالدُّخول، لكن يمنعه من الهروب. ويمكن أيضاً استخدامه لتجميد ذبذبات الضَّوء لتعود وتتحرَّر مرَّةً أخرى عندما ينفصل التّكاثف، علماً أنَّ البحث في هذا المجال ما زال حديثاً وقائماً.




• أنَّ أوَّل تكاثف بوز وأينشتاين «صافي» كوَّنه إريك كورنيل Eric Cornell، وكارل فيمان Carl Wieman ومساعدون في 5 يونيو (حزيران) عام 1995؟

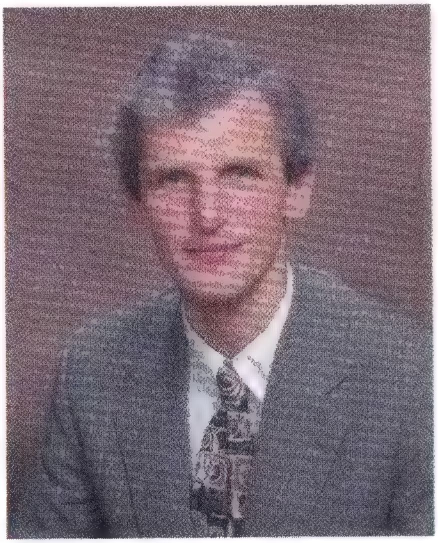
### تاريخ تكاثف بوز وأينشتاين

تتشكَّل تكاثفات بوز وأينشتاين من المادّة التي تمَّ تبريدها على درجات حرارة تلامس الصّفر المطلق.وقد تمّ التّكَهُّن بهذا التّكاثف في عشرينات القرن العشرين من قِبَل ساتيندرا ناث بوز Satyendra Nath Bose وألبرت أينشتاين Albert Einstein بناءً على عمل بوز لوضع قوانين حول: متى يجب اعتبار فوتونين متطابقين أو مختلفين؟ فقد نصَّ أينشتاين وعمَّمَ هذه الأفكار، ونتيجة لجهودهما ظهر ما يُسَمَى بإحصائيات بوز وأينشتاين. ومع تزايد المختبرات منذ عام 1995، اكتشف الفيزيائيُّون حالةً جديدةً للمادَّة عبر عمليَّةٍ تُسمَّى تكاثف بوز وأينشتاين.



كارل فيمان Carl Wieman

وأوَّل تكاثف بوز وأينشتاين حقيقيّ أنتجه إريك كورنيل Eric Cornell وكارل فيمان Carl Wieman ومساعدين في 5 يونيو (حزيران) 1995 في مختبر جيلاً JILA Joint Institute for Laboratory Astrophysics في جامعة



وولفغانغ كيتيرل Wolfgang Ketterle



تعرف إلى

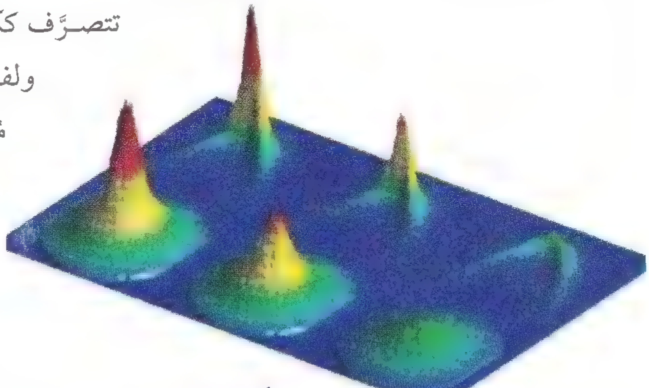
**ساتيندرا ناث بوز**

**Satyendra Nath Bose**

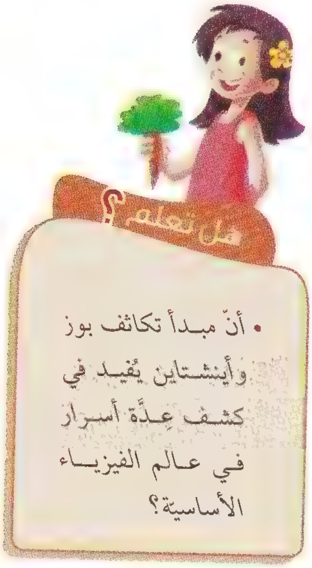
عالم رياضيّات وفيزياء هندي، اشتهر بعمله مع ألبرت أينشتاين في تطوير نظريّة حول الخصائص الشّبيهة بالغاز للإشعاع الكهربائيّ المغناطيسيّ Electromagnetic Radiation، بالإضافة إلى إنجازاتٍ أخرى. أكثر ما عُرِفَ به هو عمله على مكانيكا الكم في أوائل عشرينات القرن العشرين، حيث مَهّدَ الطّريق أمام إحصائيات بوز وأينشتاين.



كولـورادو. والبداية كانت مع تبريد بخارٍ رقيقٍ يضـمُّ 2,000 ذرة روبيديـوم Rubidium 87 علـى درجة حرارة 1.7×10−7 كلفن. وعمليّة التَّبريد المعتمدة كانت مزيجاً من اللّيزر وتبريد التَّبخُّر المُمغنط. اكتشـف فريق العمل أنَّه إذا تـمَّ تبريـد ذرّات الروبيديوم على درجة الحرارة المذكورة آنفاً، ويحدث التّكاثف الذي ينتج عنه ذرّةٌ خارقةٌ، ممّا يعني أنّ كلَّ ذرّات الروبيديوم تتصـرَّف ككتلـةٍ واحدةٍ. بعد أربعة أشـهر، أجرى ولفغانـغ كيتـرل Wolfgang Ketterle مُحاولـةٍ لإنتـاج تكاثـف ذرّة صوديوم Sodium 23 فـي جهـدٍ منفـردٍ في معهـد ماساتشوسـتس للتّقنيّـــة Massachusetts Institute of Technology. وفـي هـذا التّكاثف الجديد، تمكّن كيترل من



تأثيرات الكم





مضاعفة عدد الذَّرات مئات المرّات تقريباً، ممَّا أدى به للوصول إلى استنتاجات مهمّةٍ مثل ملاحظة تداخل ميكانيكا الكمّ بين تكاثفين مختلفين. ولإنجازاتهم البارزة في مجال تكاثف بوز وأينشتاين، حاز كلٌّ من كورنيل، وكيترل، وفيمان على جائزة نوبل في عام 2001. وفي نوفمبر (تشرين الثاني) 2003، تمّ تكوين أولى تكاثفات بوز وأينشتاين الجُزيئيّة بمساهمة غريم Grimm، جين Jin وكيترل Ketterle.

## ميزات تكاثف بوز وأينشتاين

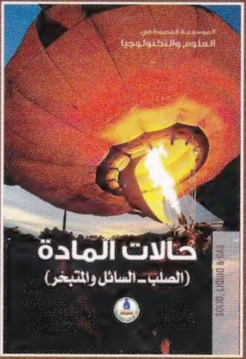
يمكن أن يمتلك تكاثف بوز وأينشتاين انحداراً عالياً في الكثافة البصريّة، وذلك أنّ الضَّوء الدّاخل ضمن التّكاثف سيمتلك سرعةً بطيئةً واضحةً. فعلى الرَّغم من تحرُّكه بسرعةٍ طبيعيّةٍ بين الذَّرّات، لكنّها تمتصُّه لوقتٍ طويلٍ قبل أن تُعيد إطلاقه. كما يمكن استخدام تكاثفات بوز وأينشتاين الدّوّارة كثقبٍ أسود نموذجي يسمح بدخول الضّوء إليه ويمنعه من الهروب. وميِّزةٌ أخرى لهذا التّكاثف، هي أنّه يتغيَّر شكله في ظلّ وجود حقلٍ مغناطيسيٍّ ضعيفٍ. لكن ميِّزة إبطاء سرعة الضّوء تبقى الأكثر استفزازيّة فيه. ففي عام 1998 أبطأ لين هو Lene Hau من جامعة هارفارد مع مجموعة من زملائها رحلة الضَّوء في هذا التّكاثف، فانخفضت السُّرعة في الفراغ من 3 × 108 أمتار في الثانية إلى ما يلامس 17 متراً في الثَّانية. وهذه النَّتائج تعتبر واعدة لإنتاج أنواعٍ جديدةٍ من الاتصالات تعتمد على الضَّوء، وتخزين بصري للبيانات والحساب الكمّي، على الرَّغم من أنَّ عائق تدنّي درجة الحرارة لإنجاز ذلك لا يزال قائماً.



حساب الكم

## الموسوعة المصورة في
# العلوم والتكنولوجيا
PICTORIAL SCIENCE INFOPEDIA

- الوقت
- القوى والحركة
- الهواء
- الأرض
- الكون
- الطب
- الإتصالات
- الطيران
- الرجل الآلي
- السيارات
- الحاسب الآلي
- التكنولوجيا
- جسم الإنسان
- المغناطيسية
- الكهرباء
- الصوت
- الخلايا
- المحيطات
- تقنية الصغائر (النانو)
- رحلات الفضاء
- الضوء
- الحرارة
- الكيمياء وعناصرها
- حالات المادة: الصلب، السائل والمتبخر




العُلوم هي منظومة الحُصول على المعرفة إستنادًا على النَّظريَّات التي تُطبَّق من خلال إجراء البُحث والتَّجارب العلميَّة. هذه الموسوعة التي بين يديك تُشكل مجموعة مراجع أساسيَّة تؤمِّن لك الأُسس الفعَّالة للإبحار في مُختلف الإختصاصات العلميَّة. إنَّها مصدر قيِّم للطُّلاب والمُتخصِّصين، يعرض القوانين والقواعد العلميَّة بأسلوب شيِّق وسهل مُستندًا إلى الصور الملوَّنة والإختبارات العلميَّة التي تُرسِّخ المعلومة بشكلٍ ثابت في الأذهان.

PICTORIAL SCIENCE INFOPEDIA


ISBN 978-9953-30-702-2



Dar El Rateb دار الراتب الجامعية
P.O.Box 14/5229 Beirut - Lebanon
Telefax: 00961 1 853993 - 853895
Website : www.dar-elrateb.com
Email: info@dar-elrateb.com